

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Stipić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić, dipl. ing.

Student:

Tomislav Stipić

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Posebno se zahvaljujem mentoru Doc. dr. sc. Jerolimu Andriću, dipl. ing. na savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se Doc. dr. sc. Peri Prebegu, dipl. ing. na pomoći tijekom optimizacije.

Zahvaljujem se i Dr. sc. Karlu Piriću, dipl. ing. na pomoći pri opterećivanju i balansiranju modela.

Zahvaljujem roditeljima i obitelji na strpljenju, razumijevanju i podršci.

Tomislav Stipić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija brodogradnje



| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Stipić** Mat. br.: 0035138724

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **STRUKTURNA ANALIZA I OPTIMIZACIJA TERETNOG PROSTORA BRODA ZA RASUTI TERET**

Naslov rada na engleskom jeziku: **STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CARGO HOLD AREA OF BULK CARRIER**

Opis zadatka:

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret provode se prema usuglašenim zajedničkim Pravilima IACS CSR (BC). Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provesti i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina projektiranja brodskih konstrukcija.

U okviru diplomskog zadatka potrebno je:

1. Upoznati se s Pravilima IACS CSR (BC). Posebnu pažnju posvetiti metodologiji provođenja proračuna strukturne analize globalnog modela teretnog prostora (*Ch.7. Direct strength analysis*).
2. Provesti modifikaciju prethodno izgrađenog prototipnog MKE modela konstrukcije broda za rasuti teret (nosivosti oko 39 000 DWT) na način da se zadrži ista geometrija, a promjene se neki od slijedećih parametara (razmaka rebara, razmak okvira u dnu i palubi, itd.).
3. Za novo definiranu konstrukciju implementirati slučajeve opterećenja sukladno Pravilima IACS CSR (BC), provesti proračun odziva, te izvršiti analizu podobnosti konstrukcije prema strukturnim kriterijima (popuštanje, izvijanje) definiranim u Pravilima IACS CSR (BC), koristeći računalni program MAESTRO-View3D dostupan na FSB-u.
4. Provesti strukturnu optimizaciju s ciljem minimizacije mase konstrukcije korištenjem programa MAESTRO-Demak. Kao min-max ograničenja koristiti minimalne zahtjeve za lokalnu čvrstoću oplate lima i uzdužnjaka prema zahtjevima Pravila te ih izračunati programom MARS.
5. Analizirati podobnost predložene konstrukcije te usporediti strukturne dimenzije prototipne i predložene konstrukcije.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datumi obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Nastia Degiuli

Sadržaj

| | |
|---|-----|
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA..... | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| SAŽETAK..... | VI |
| SUMMARY | VII |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. ANALIZA PRAVILA | 5 |
| 2.1. Slučajevi opterećenja | 6 |
| 2.2. Analiza podobnosti | 11 |
| 2.3. Izrada modela..... | 13 |
| 2.4. Rubni uvjeti..... | 14 |
| 2.5. Korozija..... | 15 |
| 3. ANALIZA PROTOTIPA I ODABIR VARIJANTE..... | 16 |
| 3.1. Glavne karakteristike prototipa..... | 16 |
| 3.2. Analiza prototipa..... | 18 |
| 3.3. Odabir varijante..... | 21 |
| 4. ANALIZA ODABRANOG PROJEKTA..... | 24 |
| 5. OPTIMIZACIJA..... | 38 |
| 5.1. Optimizacijska metoda..... | 38 |
| 5.2. Definicija optimizacijskog problema | 39 |
| 5.3. Analiza rezultata optimizacije..... | 41 |
| 5.4. Standardizacija | 46 |
| 6. USPOREDBA PROTOTIPA I PROJEKTA 735a-Fin..... | 56 |
| ZAKLJUČAK | 60 |
| LITERATURA..... | 61 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|---|----|
| Slika 1. | Brod za prijevoz rasutog tereta | 1 |
| Slika 2. | Opći plan broda za rasute terete | 3 |
| Slika 3. | Dijagram toka [1] | 5 |
| Slika 4. | Uzdužni opseg modela [1] | 13 |
| Slika 5. | Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi na krajevima modela | 14 |
| Slika 6. | Debljine limova prototipa P800 | 17 |
| Slika 7. | Dimenzije uzdužnjaka prototipa P800 | 17 |
| Slika 8. | Kriterij globalne čvrstoće za prototip P800 | 18 |
| Slika 9. | Kriterij granične čvrstoće za prototip P800 | 18 |
| Slika 10. | Globalni kriteriji podobnosti za prototip P800 | 19 |
| Slika 11. | Lokalna podobnost vojeva i uzdužnjaka za prototip P800 | 20 |
| Slika 12. | Model glavnog rebra | 25 |
| Slika 13. | Polovinski model tri skladišta | 25 |
| Slika 14. | Cijeli model tri skladišta | 26 |
| Slika 15. | Polovinski model skladišta 3..... | 26 |
| Slika 16. | Cijeli model skladišta 3..... | 27 |
| Slika 17. | Roštilj dvodna | 27 |
| Slika 18. | Poprečna struktura..... | 28 |
| Slika 19. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a..... | 33 |
| Slika 20. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a..... | 33 |
| Slika 21. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata pokrova dvodna za Projekt P735a | 34 |
| Slika 22. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata uzvojnog tanka za Projekt P735a | 34 |
| Slika 23. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a..... | 35 |
| Slika 24. | Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a | 35 |
| Slika 25. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a | 36 |
| Slika 26. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a | 36 |
| Slika 27. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a | 37 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 28. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a | 37 |
| Slika 29. | Dijagram toka optimizacije | 38 |
| Slika 30. | Rezultati optimizacije | 41 |
| Slika 31. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a-Fin | 51 |
| Slika 32. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a-Fin | 51 |
| Slika 33. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata pokrova dvodna za Projekt P735a-Fin | 52 |
| Slika 34. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata uzvojnog tanka za Projekt P735a-Fin | 52 |
| Slika 35. | Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a-Fin | 53 |
| Slika 36. | Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a-Fin | 53 |
| Slika 37. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a-Fin | 54 |
| Slika 38. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a-Fin | 54 |
| Slika 39. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a-Fin | 55 |
| Slika 40. | Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a-Fin | 55 |
| Slika 41. | Usporedba masa projekata | 56 |

POPIS TABLICA

| | | |
|-------------|--|----|
| Tablica 1. | Faktor slaganja tipičnog tereta [2]..... | 2 |
| Tablica 2. | Opis odabranih slučajeva opterećenja [1] | 7 |
| Tablica 3. | Opis odabranih slučajeva opterećenja [1] | 8 |
| Tablica 4. | Opis odabranih slučajeva opterećenja [1] | 9 |
| Tablica 5. | Slučajevi opterećenja..... | 10 |
| Tablica 6. | Faktor materijala [1]..... | 12 |
| Tablica 7. | Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi [1]..... | 14 |
| Tablica 8. | Rubni uvjeti - Pomaci [1] | 14 |
| Tablica 9. | Dodatak zbog korozije [1]..... | 15 |
| Tablica 10. | Razmaci okvira..... | 21 |
| Tablica 11. | Kriterij globalne i granične čvrstoće | 21 |
| Tablica 12. | Proračun mase limova jednog okvira | 22 |
| Tablica 13. | Proračun mase ukrepa jednog okvira | 22 |
| Tablica 14. | Proračun ukupne poprečne strukture..... | 23 |
| Tablica 15. | Ukupna masa | 23 |
| Tablica 16. | Proračun masa za Projekt P735a | 29 |
| Tablica 17. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a..... | 30 |
| Tablica 18. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a..... | 31 |
| Tablica 19. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a..... | 32 |
| Tablica 20. | Minimalne i maksimalne debljine limova..... | 40 |
| Tablica 21. | Proračun masa za Projekt P735a-Opt..... | 42 |
| Tablica 22. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt | 43 |
| Tablica 23. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt | 44 |
| Tablica 24. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt | 45 |
| Tablica 25. | Proračun masa za Projekt P735a-Fin | 47 |
| Tablica 26. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin | 48 |
| Tablica 27. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin | 49 |
| Tablica 28. | Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin | 50 |
| Tablica 29. | Usporedba strukturnih dimenzija | 57 |
| Tablica 30. | Usporedba strukturnih dimenzija | 58 |
| Tablica 31. | Usporedba strukturnih dimenzija | 59 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---------------|-----------------|------------------------------------|
| g | / | faktor podobnosti |
| C | / | izdržljivost (<i>Capability</i>) |
| D | / | naprezanje (<i>Demand</i>) |
| γ | / | faktor sigurnosti |
| σ_{eq} | N/mm^2 | Von Misesovo naprezanje |
| σ_x | N/mm^2 | Naprezanje u smjeru osi x |
| σ_y | N/mm^2 | Naprezanje u smjeru osi y |
| τ_{xy} | N/mm^2 | Smično naprezanje |
| k | / | faktor materijala |
| L | m | duljina broda |
| B | m | širina broda |
| V | m | visina broda |
| T | m | gaz broda |
| C_B | / | koeficijent punoće |
| s | mm | razmak okvira |

SAŽETAK

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret danas se provodi prema Usuglašenim zajedničkim pravilima IACS CSR(BC) [1]. Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provest i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina projektiranja brodskih konstrukcija. Cilj ovog rada je upravo demonstracija takvog pristupa projektiranju brodske konstrukcije na primjeru broda za rasuti teret od oko 40 000 DWT-a.

Proračun je proveden kroz dvije faze. Kroz fazu 1 evaluirane su strukturne dimenzije prototipa P800, te je generirano nekoliko varijanti konstrukcije promjenom razmaka rebara i broja uzdužnih nosača u dvodnu. Reprojektiranjem strukturnih dimenzija predloženih varijanti i njihovom evaluacijom odabrana je najbolja varijanta po kriteriju minimalne mase.

U drugoj fazi je proveden je, za odabranu varijantu, direktni proračun korištenjem metode konačnih elemenata, te strukturna optimizacija.

Ključne riječi: brod za rasuti teret, strukturnu analizu, metodom konačnih elemenata, strukturna optimizacija

SUMMARY

Today the design and construction of bulk carriers is carried out according to the Common Structural Rules for Bulk Carriers. To determine the structural dimension, in addition to prescriptive rules, it is necessary to conduct the structural analysis of cargo hold area (three cargo holds) using finite element method (FEM). Rational design of the structural dimensions of the hull using FEM and optimization methods is characteristic of the modern way of designing ship structures. The aim of this paper is to demonstrate this approach to the design of ship structures in the case of bulk carrier of about 40,000 DWT.

This analysis is conducted in two phases. Through Phase 1 the structural dimensions of the prototype P800 are evaluated, and several variants of ship structures are generated by varying the spacing of the frames and the number of longitudinal girders in the double bottom. By changing the structural dimension of the proposed variants and their evaluation the best variant is selected by the criterion of minimum weight.

In the second phase, for the selected variant, a Direct Strength Analysis using the finite element method, along with structural optimization, is carried out.

Key words: Bulk Carrier, structural analysis, finite element method (FEM), structural optimization

1. UVOD

S razvojem tržišta rastu i zahtjevi brodovlasnika, a s njima i glavne izmjere brodova. Sve složeniji brodovi traže primjenu novih tehnologija u gradnji, opremanju i u procesu projektiranja. Danas je gotovo nemoguće tako sofisticirane plovne objekte uspješno projektirati bez primjene računalne tehnologije i suvremenih projektnih metoda (CAD sustavi, numerički proračuni-MKE, optimizacijske metode).

Brod za prijevoz rasutog tereta je brod koji obično ima jednu, glavnu palubu, bočne tankove i uzvojne tankove te naborane poprečne pregrade. Primarna mu je namjena prijevoz suhih rasutih tereta, što uključuje rudaču i kombinirane terete [2].



Slika 1. Brod za prijevoz rasutog tereta

Ovisno o nosivosti brod za prijevoz rasutog tereta dijelimo u šest skupina:

- Mali - ispod 10 000 DWT
- Handysize - 10 000 - 35 000 DWT
- Handymax - 35 000 - 59 000 DWT
- Panamax - 60 000 - 80 000 DWT
- Capesize - 80 000 - 150 000 DWT
- Vrlo veliki - iznad 150 000 DWT

Na projekt broda za prijevoz rasutog tereta velik utjecaj ima teret koji će brod prevoziti. Teret je podijeljen u četiri kategorije:

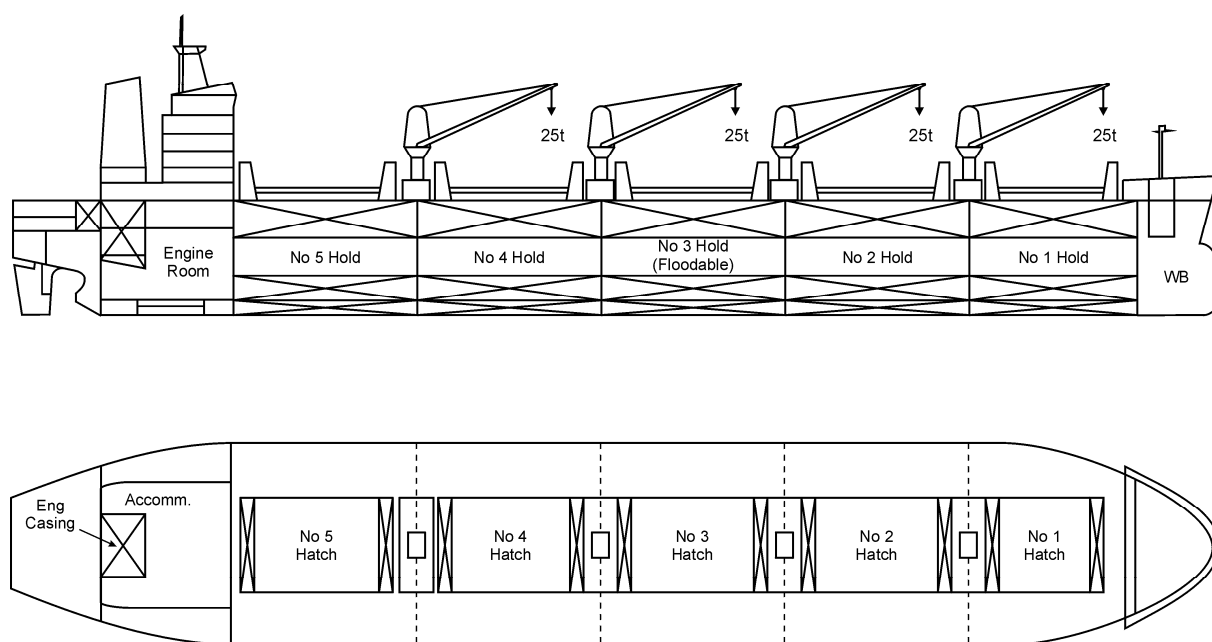
- Metalna rudača (željezna rudača, sirovo željezo, staro željezo)
- Energenti (ugljen, boksit, drvo)
- Poljoprivredni tereti (žito, soja, umjetno gnojivo)
- „Drugo“

Teret je definiran faktorom slaganja tj. volumenom koji zauzima jedna tona tereta. Gustoća tereta se kreće od 0.6 t/m^3 za žitarice do 3 t/m^3 za željeznu rudaču. Prema tome kod brodova koji prevoze rudaču težina će biti glavni faktor dok će kod prijevoza žitarica ili ugljena brod biti potpuno nakrcan prije nego dosegne maksimalni gaz. Svaki tip tereta ima i posebne zahtjeve koje brod mora ispunjavati. Tako na primjer ugljen može ispuštati zapaljivi plin-metan. Smjesa metana i zraka koja sadrži 5-15% metana je eksplozivna i može se upaliti iskrom ili otvorenim plamenom. Metan je lakši od zraka i može se stoga skupljati u gornjim dijelovima prostora za teret. Neke vrste ugljena sposobne su apsorbirati kisik u prostoru za teret. Dok su druge sklone samozagrijavanju, što može dovesti do spontanog izbijanja vatre u prostoru za teret. Neke vrste ugljena mogu u dodiru s vodom stvoriti kiseline što dovodi do korozije. Pri prijevozu žitarica brod mora ispunjavati i određene zahtjeve u pogledu stabilnosti, kako ne bi došlo do pomicanja tereta.

Tablica 1. Faktor slaganja tipičnog tereta [2]

| <i>Commodity</i> | <i>Stowage factor, ft³/long ton</i> | <i>Stowage factor, m³/long ton</i> | <i>Specific gravity, ton/m³</i> |
|------------------|--|---|--|
| Iron Ore | 12–15 | 0.34–0.42 | 3–2.42 |
| Coal | 42–48 | 1.2–1.36 | 0.85–0.75 |
| Grain heavy | 42–56 | 1.2–1.42 | 0.85–0.72 |
| Grain light | 55–60 | 1.56–1.7 | 0.65–0.6 |
| Bauxite | 28–35 | 0.79–0.99 | 1.29–1.03 |
| Phosphate/rock | 33–34 | 0.91–0.96 | 1.12–1.06 |
| General | 24–29 | 0.69–0.82 | 1.47–1.24 |

Osnovne dimenzije brodova najčešće su ograničene lukama u kojima će brod pristajati, ali i studijom o ekonomskoj isplativosti. Većina brodova za rasuti teret se projektira sa omjerom duljine i širine 5 do 7, omjerom duljine i visine 11 do 12, brzine 13.5 do 15 čvorova i sa jednostrukom ili dvostrukom oplatom. Brodovi za prijevoz rasutog tereta imaju velike grotlene otvore radi lakšeg rukovanja teretom tijekom utovara i istovara. Dimenzije grotla su obično između 45% i 60% širine i 57% i 67% duljine skladišta. Grotla predstavljaju diskontinuitet strukture i dovode do koncentracije naprezanja na uglovima pražnica. Prilikom utovara i istovara oštećenja nastaju i na pokrovu dvodna zbog teških buldožera i grabilica dizalica. Posebna pozornost usmjerena je na čvrstoću naboranih pregrada i strukturu dvodna najudaljenijih skladišta. Ispituje se i stabilitet oštećenog broda za slučaj naplavljenog najudaljenijeg skladišta.



Slika 2. Opći plan broda za rasute terete

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret danas se provodi prema Usuglašenim zajedničkim pravilima IACS CSR(BC) [1]. Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provest i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina

projektiranja brodskih konstrukcija. Cilj ovog rada je upravo demonstracija takvog pristupa projektiranju brodske konstrukcije na primjeru broda za rasuti teret od oko 40 000 DWT-a.

Proračun je proveden kroz dvije faze:

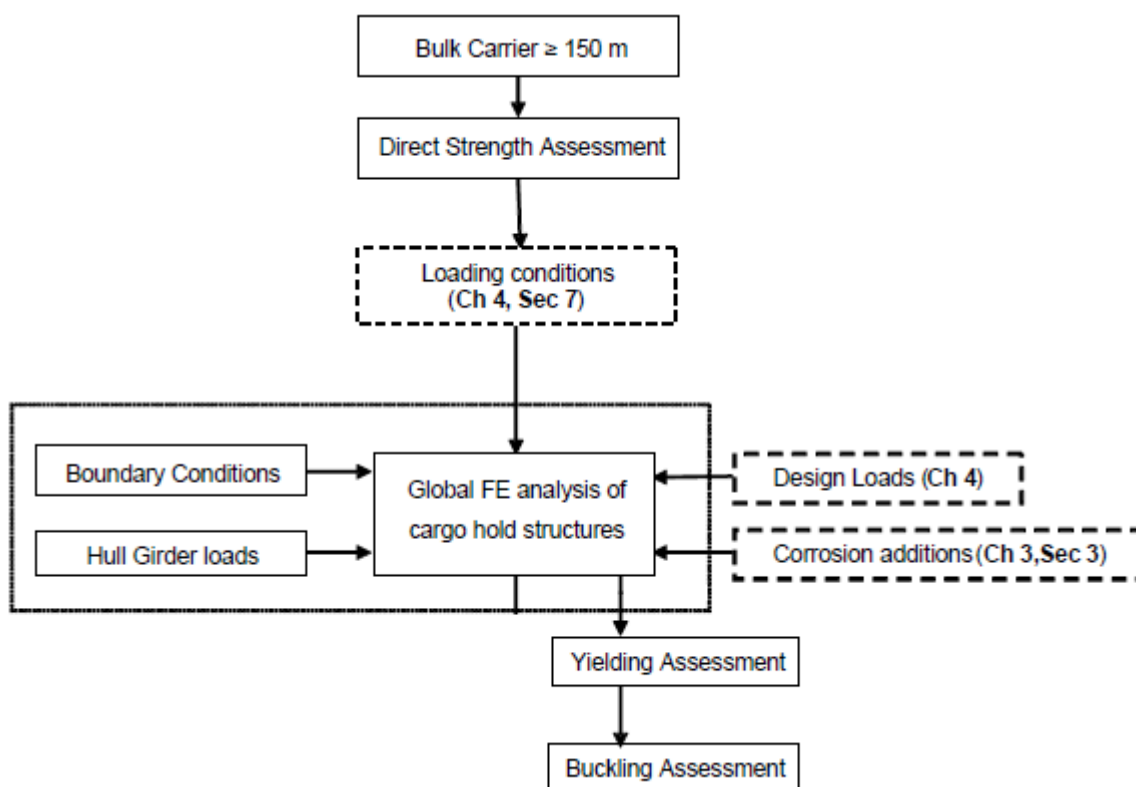
Faza 1 - evaluacija strukturnih dimenzija prototipa P800, generiranje varijanti konstrukcije promjenom razmaka rebara i broja uzdužnih nosača u dvodnu. Reprojektiranjem strukturnih dimenzija predloženih varijanti i njihovom evaluacijom odabrana je najbolja varijanta po kriteriju minimalne mase.

Faza 2 - za odabranu varijantu, proveden je direktni proračun korištenjem metode konačnih elemenata, te strukturna optimizacija.

2. ANALIZA PRAVILA

U ovom poglavlju dan je pregled pravila i zahtjeva za modeliranje strukture na razini globalnog MKE modela prema IACS *Common Structural Rules for Bulk Carriers* [1]. Donošenje Pravila i njihova primjena odvijala se u više koraka. Prikupljani su komentari i prijedlozi brodogradilišta s jedne i brodovlasnika s druge strane u nekoliko navrata. Na kraju su Pravila objavljena 15. siječnja 2006., a 1. travnja 2006. se počelo s primjenom.

U ovom radu posebna pažnja usmjerena je poglavljima 4, 6 i 7 navedenih IACS CSR pravila. U poglavlju 4 dane su smjernice za primjenu Pravila vezana za opterećenja koja će biti narinuta modelu. Poglavljem 6 opisana je analiza podobnosti konstrukcije. U poglavlju 7 opisana je procedura za modeliranje strukture na razini globalnog MKE modela. Procedura propisana Pravilima prikazana je na Slici 3.



Slika 3. Dijagram toka [1]









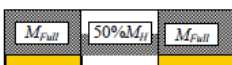



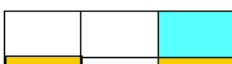



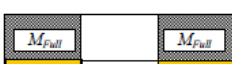



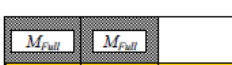







2.1. Slučajevi opterećenja

Ovo poglavlje se bavi procedurama kojima smo dobili opterećenja za *3-hold* model. Proračun je izrađen prema IACS pravilima [1].

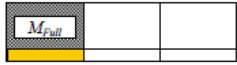



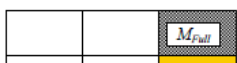



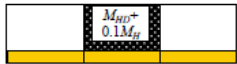























U ovom slučaju opterećenja su kombinacija valne komponente i stanja krcanja. Vanjski hidrostatički tlak i unutarnji statički tlak koji su nastali zbog tereta i balasta smatraju se kao poprečna opterećenja na mirnoj vodi. Vanjski hidrodinamički tlak i unutarnji inercijski tlak tereta i balasta čine poprečna opterećenja na valovima. Smična sila i moment savijanja na mirnoj vodi, odnosno smična sila i moment savijanja na valovima uzimaju se kao opterećenja konstrukcije trupa. Naprezanje nastalo zbog poprečnog opterećenja na valovima i opterećenje trupa međusobno se kombiniraju pomoću kombinacijskih faktora.

Na temelju pravila IACS-a identificirana su stanja krcanja. Sva stanja krcanja sa detaljnim opisom distribucije tereta i statičkim globalnim opterećenjima prikazana su u tablicama 2, 3 i 4. Od odabranih stanja krcanja generirana su 32 slučaja opterećenja. Slučajevi opterećenja razlikuju se po načinu krcanja, zbog različite gustoće tereta, broju popunjenih skladišta i postotku njihove popunjenosti. Navedeni slučajevi opterećenja implementirani su u MAESTRO-View3D [3], te su prikazani u tablici 5.

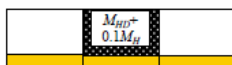







Tablica 2. Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]

| No. | Description ^{a)} | Draught | Loading Pattern | Aft | Mid | Fore | Load Case (Design Wave) | | | | Odabrani slučajevi opterećenja |
|-----|---------------------------|-----------|---|---|---|---|---|------------|------------|--|--------------------------------|
| | | | | | | | Still water vertical bending moment ^{b)} | | | | |
| 1 | Full Load ([2.1.3]) | T_S |  |  |  |  | P1 | | | | LC 1 |
| | | | | | | | $0.5M_{SW,S}$ | | | | |
| 2 | Full Load ([3.2.1]) | T_S |  |  |  |  | P1 | | | | LC 2 |
| | | | | | | | $0.5M_{SW,S}$ | | | | |
| 3 | Slack Load ([3.2.2]) | T_S |  |  |  |  | P1 | | | | LC 3 |
| | | | | | | | 0 | | | | |
| 4 | Deepest Ballast ([3.2.3]) | T_{HB} |  |  |  |  | R1 | R1 | P1 | | LC 4, LC 5, LC 6 |
| | | | | | | | $M_{SW,H}$ | $M_{SW,S}$ | $M_{SW,S}$ | | LC 7, LC 8, LC 9 |
| 5 | Multi Port -2 ([3.3.2]) | $0.83T_S$ |  |  |  |  | F2 | P1 | | | LC 10 |
| | | | | | | | $M_{SW,H}$ | $M_{SW,S}$ | | | LC 11 |
| 6 | Multi Port -3 ([3.3.3]) | $0.67T_S$ |  |  |  |  | P1 | | | | LC 12 |
| | | | | | | | $M_{SW,S}$ | | | | |
| 7 | Multi Port -3 ([3.3.3]) | $0.67T_S$ |  |  |  |  | P1 | | | | LC 13 |
| | | | | | | | $M_{SW,S}$ | | | | |

Tablica 3. Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]

| No. | Description ^{a)} | Draught | Loading Pattern | Aft | Mid | Fore | Load Case (Design Wave) | | | | Odabrani slučajevi opterećenja |
|-----|--------------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| | | | | | | | Still water vertical bending moment ^{b)} | | | | |
| 8 | Multi Port -4 ([3.3.4]) | 0.75T _s |  |  |  |  | F2 | R1 | R1 | P1 | LC 14, LC 15 |
| | | | | | | | M _{SW,H} | M _{SW,H} | M _{SW,S} | M _{SW,S} | LC 16, LC 17 |
| 9 | Multi Port -4 ([3.3.4]) | 0.75T _s |  |  |  |  | F2 | R1 | R1 | P1 | LC 18, LC 19 |
| | | | | | | | M _{SW,H} | M _{SW,H} | M _{SW,S} | M _{SW,S} | LC 20, LC 21 |
| 10 | Alternate Load ([3.4.2]) | T _s |  |  |  |  | F2 | P1 | | | LC 22 |
| | | | | | | | M _{SW,H} | 0 | | | LC 23 |
| 11 | Alt-Block Load ([3.4.3]) | T _s |  |  |  |  | H1 | F2 | P1 | | |
| | | | | | | | M _{SW,S} | M _{SW,H} | M _{SW,S} | | |
| 12 | Alt-Block Load ([3.4.3]) | T _s |  |  |  |  | H1 | F2 | P1 | | |
| | | | | | | | M _{SW,S} | M _{SW,H} | M _{SW,S} | | |
| 13 | Heavy Ballast ([3.5.1]) | T _{HB(min)} |  |  |  |  | H1 | R1 | R1 | | LC 24, LC 25 |
| | | | | | | | M _{SW,S} | 0 | M _{SW,S} | | LC 26 |
| 14 | Heavy Ballast | T _{HB(min)} |  |  |  |  | R1 | R1 | | | LC 27 |
| | | | | | | | 0 | M _{SW,S} | | | LC 28 |
| 15 | Harbour Condition -1 ([3.6.1]) | 0.67T _s |  |  |  |  | --- | --- | | | |
| | | | | | | | M _{SW,P,H} | M _{SW,P,S} | | | |

Tablica 4. Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]

| No. | Description ^{a)} | Draught | Loading Pattern | Aft | Mid | Fore | Load Case (Design Wave) | | | | Odabrani slučajevi opterećenja |
|------|---------------------------|---------------|---|---|---|---|---|--|--|--|--------------------------------|
| | | | | | | | Still water vertical bending moment ^{b)} | | | | |
| | | | | | | | Still water shear force | | | | |
| 10SF | Alternate Load ([3.4.2]) | T_S |  |  |  |  | F2 | | | | LC 29 |
| | | | | | | | $0.8M_{SW,H}$ | | | | LC 30 |
| | | | | | | | Q_{SW} | | | | |
| 13SF | Heavy Ballast ([3.5.1]) | $T_{HB(min)}$ |  |  |  |  | H1 | | | | LC 31 |
| | | | | | | | $0.8M_{SW,S}$ | | | | LC 32 |
| | | | | | | | Q_{SW} | | | | |

Tablica 5. Slučajevi opterećenja

| MAESTRO LC | Name | TLC [m] | Location [m] | MSW [kNm] | CWV [/] | MWV [kNm] | MVT [kNm] | CWH [/] | MWH [kNm] | MHT [kNm] | QSW [kN] | QWV [kN] | QVT [kN] |
|------------|---|---------|--------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | LC1_FullLoad (Tab3No1P1 Sagg) | 11.3 | 99.03 | -534645 | -0.6 | 1398536 | -1373767 | 0 | 991863 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | LC2_FullLoad (Tab3No2P1 Sagg) | 11.3 | 99.03 | -534645 | -0.6 | 1398536 | -1373767 | 0 | 991863 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | LC3_SlackLoad (Tab3No3P1 Sagg MSW=0) | 11.3 | 99.03 | 0 | -0.6 | 1398536 | -839122 | 0 | 991863 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | LC4_DeeppestBallast (Tab3No4aR1 Hogg) | 8.35 | 99.03 | 1285110 | 0 | 1293436 | 1285110 | 0.46 | 733189 | 337851 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | LC5_DeeppestBallast (Tab3No4aR1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | 0 | 1398536 | -1069290 | 0.46 | 733189 | 337851 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | LC6_DeeppestBallast (Tab3No4aP1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | -0.34 | 1398536 | -1543678 | 0 | 733189 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | LC7_DeeppestBallast (Tab3No4bR1 Hogg) | 8.35 | 99.03 | 1285110 | 0 | 1293436 | 1285110 | 0.46 | 733189 | 337851 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | LC8_DeeppestBallast (Tab3No4bR1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | 0 | 1398536 | -1069290 | 0.46 | 733189 | 337851 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | LC9_DeeppestBallast (Tab3No4bP1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | -0.34 | 1398536 | -1543678 | 0 | 733189 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | LC10_MultiPort2 (Tab3No5F2 Hogg) | 9.38 | 99.03 | 1285110 | 1 | 1293436 | 2578546 | 0 | 823246 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | LC11_MultiPort2 (Tab3No5P1 Sagg) | 9.38 | 99.03 | -1069290 | -0.43 | 1398536 | -1670661 | 0 | 823246 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | LC12_MultiPort3 (Tab3No6P1 Sagg) | 7.57 | 99.03 | -1069290 | -0.27 | 1398536 | -1446895 | 0 | 664548 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | LC13_MultiPort3 (Tab3No7P1 Sagg) | 7.57 | 99.03 | -1069290 | -0.27 | 1398536 | -1446895 | 0 | 664548 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | LC14_MultiPort4 (Tab3No8F2 Hogg) | 8.48 | 99.03 | 1285110 | 1 | 1293436 | 2578546 | 0 | 743897 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | LC15_MultiPort4 (Tab3No8R1 Hogg) | 8.48 | 99.03 | 1285110 | 0 | 1293436 | 1285110 | 0.45 | 743897 | 334754 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | LC16_MultiPort4 (Tab3No8R1 Sagg) | 8.48 | 99.03 | -1069290 | 0 | 1398536 | -1069290 | 0.45 | 743897 | 334754 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | LC17_MultiPort4 (Tab3No8P1 Sagg) | 8.48 | 99.03 | -1069290 | -0.35 | 1398536 | -1558778 | 0 | 743897 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | LC18_MultiPort4 (Tab3No9F2 Hogg) | 8.48 | 99.03 | 1285110 | 1 | 1293436 | 2578546 | 0 | 743897 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | LC19_MultiPort4 (Tab3No9R1 Hogg) | 8.48 | 99.03 | 1285110 | 0 | 1293436 | 1285110 | 0.45 | 743897 | 334754 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | LC20_MultiPort4 (Tab3No9R1 Sagg) | 8.48 | 99.03 | -1069290 | 0 | 1398536 | -1069290 | 0.45 | 743897 | 334754 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | LC21_MultiPort4 (Tab3No9P1 Sagg) | 8.48 | 99.03 | -1069290 | -0.35 | 1398536 | -1558778 | 0 | 743897 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | LC22_AlternateLoad (Tab3No10F2 Hogg) | 11.3 | 99.03 | 1285110 | 1 | 1293436 | 2578546 | 0 | 991863 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | LC23_AlternateLoad (Tab3No10P1 Sagg MSW=0) | 11.3 | 99.03 | 0 | -0.6 | 1398536 | -839122 | 0 | 991863 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | LC24_HeavyBallast (Tab3No13H1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | -1 | 1398536 | -2467826 | 0 | 732487 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | LC25_HeavyBallast (Tab3No13R1 Sagg MSW=0) | 8.35 | 99.03 | 0 | 0 | 1398536 | 0 | 0.46 | 732487 | 338046 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | LC26_HeavyBallast (Tab3No13R1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | 0 | 1398536 | -1069290 | 0.46 | 732487 | 338046 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | LC27_HeavyBallast (Tab3No14R1 Sagg MSW=0) | 8.35 | 99.03 | 0 | 0 | 1398536 | 0 | 0.46 | 732487 | 338046 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | LC28_HeavyBallast (Tab3No14R1 Sagg) | 8.35 | 99.03 | -1069290 | 0 | 1398536 | -1069290 | 0.46 | 732487 | 338046 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | LC29_AlternateLoad (Tab4No10SFF2 Hogg Aft) | 11.3 | 84.63 | 1028088 | 1 | 1293436 | 1868821 | 0 | 0 | 0 | -50522 | -15377 | -65899 |
| 30 | LC30_AlternateLoad (Tab4No10SFF2 Hogg Fore) | 11.3 | 113.43 | 1028088 | 1 | 1282575 | 1861761 | 0 | 0 | 0 | 42674 | 18889 | 61562 |
| 31 | LC31_HeavyBallast (Tab4No13SFH1 Sagg Aft) | 8.35 | 84.63 | -855432 | -1 | 1398536 | -1764480 | 0 | 0 | 0 | -50522 | -15377 | -65899 |
| 32 | LC32_HeavyBallast (Tab4No13SFH1 Sagg Fore) | 8.35 | 113.43 | -855432 | -1 | 1386792 | -1756847 | 0 | 0 | 0 | 42674 | 18889 | 61562 |

2.2. Analiza podobnosti

Model podobnosti nam daje informaciju o prekoračenju odziva konstrukcije i o nedovoljnoj sigurnosti elemenata strukture. Predstavljen je bibliotekom analitički zadanih projektnih kriterija – BIBLIOTEKA OGRANIČENJA koja ograničava izbor projektnih varijabli samo na one za koje će projekt konstrukcije biti dobar, odnosno koje će zadovoljiti sve projektne kriterije ograničenja. Biblioteku ograničenja čini matematička formulacija projektnih kriterija u formi projektnih ograničenja kao funkcije projektnih varijabli. Izlazne rezultate BIBLIOTEKE OGRANIČENJA predstavljaju, za pojedine kriterije ograničenja, vrijednosti za IZDRŽLJIVOST – C (*Capability*), ZAHTJEV – D (*Demand*) i PARAMETAR PODOBNOSTI – g (*adequacy parameter*). Odnos gore navedenih vrijednosti prikazan je u normaliziranom obliku, izrazom:

$$g = \frac{C - \gamma D}{C + \gamma D}$$

Gdje je:

g – faktor podobnosti $-1 \leq g \leq 1$

C – izdržljivost (*Capability*)

D – naprezanje (*Demand*)

γ – faktori sigurnosti

Parametar podobnosti g je rangiran između vrijednosti $+1$ ÷ -1 . Granični slučajevi su:

$$g \rightarrow 1 \quad \text{ako } D \rightarrow 0 \quad ; \quad g \rightarrow -1 \quad \text{ako } C \rightarrow 0$$

Sigurnost elemenata je zadovoljena ako se g nalazi između 0 i 1, odnosno nije zadovoljena za g manji od 0.

Pri provjeri čvrstoće na popuštanje koristi se ESCA (*Equivalent Stress Criteria for All*). Preporuka za procjenu čvrstoće na popuštanje je ekvivalentno Von Misesovo naprezanje koje se određuje prema formuli [1] :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad [\text{N/mm}^2]$$

gdje je:

σ_x, σ_y – naprezanje u smjeru x i y u $[\text{N/mm}^2]$

τ_{xy} – smično naprezanje u $[\text{N/mm}^2]$

Dozvoljeno naprežanje u FE modelu, ako se ne koriste ortotropni elementi ne smije prelaziti $235/k \text{ N/mm}^2$, gdje je k faktor materijala (Tablica 6.) i ovisi o ugrađenom materijalu.

Tablica 6. Faktor materijala [1]

| Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2 | k |
|--|------|
| 235 | 1.0 |
| 315 | 0.78 |
| 355 | 0.72 |
| 390 | 0.68 |

Kriterij izvijanja koji se provjerava tijekom analiza podobnosti je BEPP (*Buckling of elementary plate panels*). Provjerava se prema IACS *Common Structural Rules for Bulk Carriers Ch6, Sec3, 3.2* [1] formulama:

$$\left(\frac{|\sigma_x|S}{\kappa_x R_{eH}} \right)^{e1} + \left(\frac{|\sigma_y|S}{\kappa_y R_{eH}} \right)^{e2} - B \left(\frac{\sigma_x \sigma_y S^2}{R_{eH}^2} \right)^{e1} + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}} \right)^{e3} \leq 1.0$$

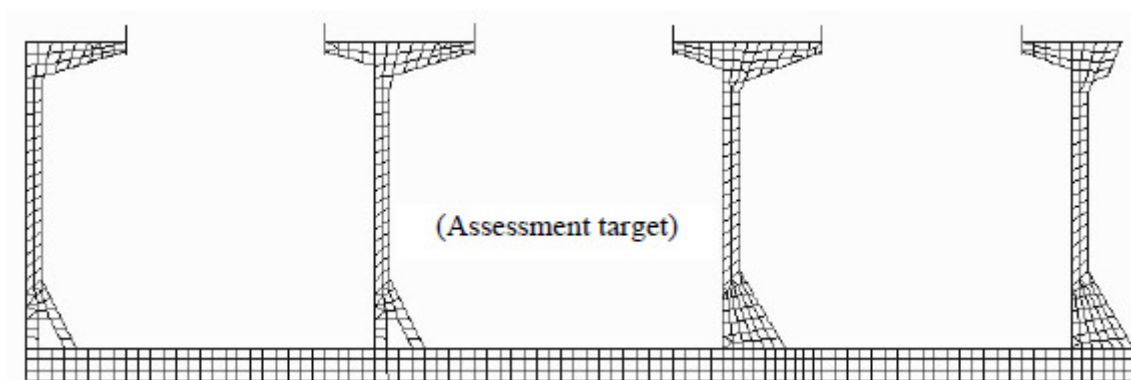
$$\left(\frac{\sigma_x S}{\kappa_x R_{eH}} \right)^{e1} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{\sigma_y S}{\kappa_y R_{eH}} \right)^{e2} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}} \right)^{e3} \leq 1.0$$

2.3. Izrada modela

Prema *Common Structural Rules for Bulk Carriers Chapter 7, Section 2* [1] model mora obuhvaćati tri skladišta i četiri poprečne pregrade sa pripadajućim osloncima (Slika 4.). Potrebno je modelirati obje strane brodske strukture. MKE model mora sadržavati sve uzdužne i poprečne strukturne elemente (pregrade, okvirna rebra, uzdužnjake, jake uzdužne nosače, upore, ukrepe, idt.). Orebreni paneli, pregrade i rebrenice modeliraju se četverokutnim ili trokutastim makroelementima (trokutaste elemente izbjegavati gdje god je moguće), a uzdužnjaci, podveze i sponje kao gredni elementi. Svi otvori "značajnih" dimenzija moraju biti modelirani.



Slika 4. Uzdužni opseg modela [1]

Ako se pri izradi modela ne koriste ortotropni elementi:

- dimenzije mreže moraju biti jednake ili manje od razmaka uzdužnjaka
- uzdužnjaci i ukrepe modeliraju se grednim elementima
- primarne elemente potrebno je podijeliti na barem tri dijela po visini
- rebra i njihova koljena modelirati korištenjem pločastog elementa za struk i grednog za flanžu
- omjer stranica elementa ne smije prelaziti 1:4

2.4. Rubni uvjeti

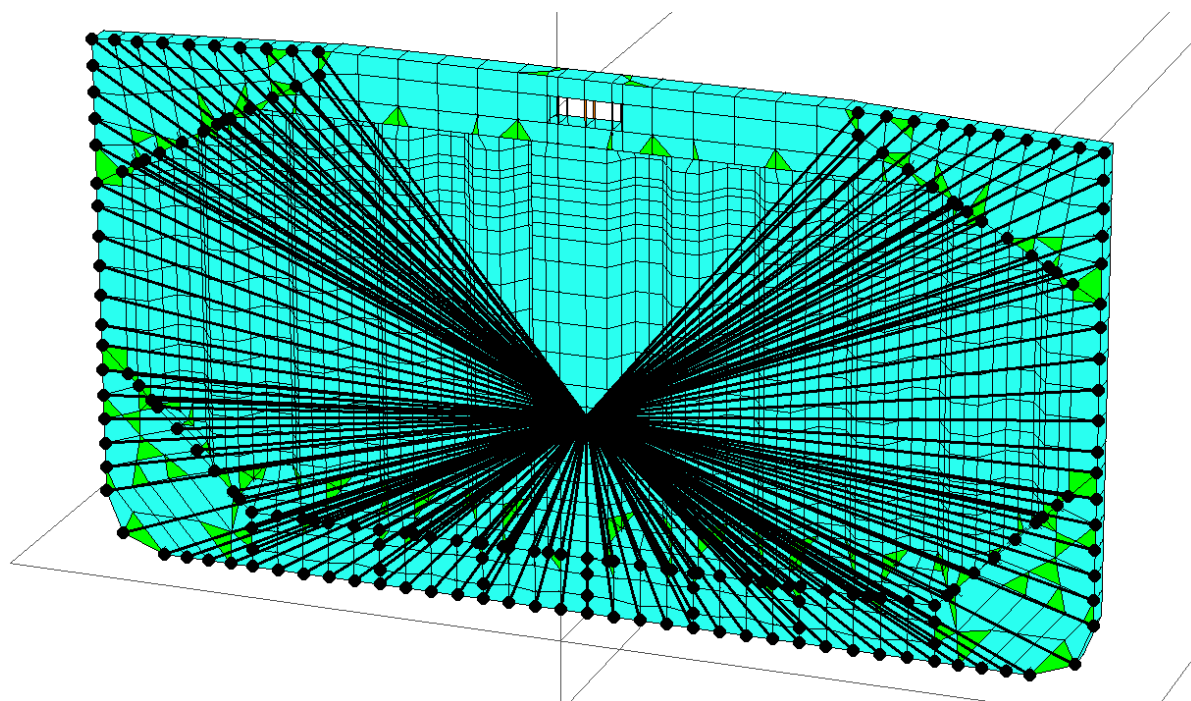
Rubni uvjeti trebaju biti modelirani na oba kraja modela. Čvorovi na uzdužnim elementima moraju biti kruto vezani za neovisni čvor koji se nalazi u neutralnoj osi na CL (Tablica 6.). Neovisni čvor treba biti fiksiran prema Tablici 7.

Tablica 7. Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi [1]

| Nodes on longitudinal members at both ends of the model | Translational | | | Rotational | | |
|---|---------------|----|----|------------|----|----|
| | Dx | Dy | Dz | Rx | Ry | Rz |
| All longitudinal members | RL | RL | RL | - | - | - |
| RL means rigidly linked to the relevant degrees of freedom of the independent point | | | | | | |

Tablica 8. Rubni uvjeti - Pomaci [1]

| Location of the independent point | Translational | | | Rotational | | |
|--|---------------|-----|-----|------------|----|----|
| | Dx | Dy | Dz | Rx | Ry | Rz |
| Independent point on aft end of model | - | Fix | Fix | Fix | - | - |
| Independent point on fore end of model | Fix | Fix | Fix | Fix | - | - |



Slika 5. Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi na krajevima modela

2.5. Korozijska

U skladu s IACS [1] pravilima dodatak zbog korozijske računa se prema:

$$t_c = \text{Roundup}_{0.5}(t_{c1} + t_{c2}) + 0.5$$

Korozijski dodaci t_{c1} i t_{c2} prikazani su u tablici 6.

Tablica 9. Dodatak zbog korozijske [1]

| Compartment Type | Structural member | | Corrosion addition, t_{c1} or t_{c2} in mm | |
|---|---|--|--|-------|
| | | | BC-A or BC-B ships with $L \geq 150$ m | Other |
| Ballast water tank ⁽²⁾ | Face plate of primary members | Within 3m below the top of tank ⁽³⁾ | 2.0 | |
| | | Elsewhere | 1.5 | |
| | Other members | Within 3 m below the top of tank ⁽³⁾ | 1.7 | |
| | | Elsewhere | 1.2 | |
| Dry bulk cargo hold ⁽¹⁾ | Transverse bulkhead | Upper part ⁽⁴⁾ | 2.4 | 1.0 |
| | | Lower stool: sloping plate, vertical plate and top plate | 5.2 | 2.6 |
| | | Other parts | 3.0 | 1.5 |
| | Other members | Upper part ⁽⁴⁾ | 1.8 | 1.0 |
| | | Webs and flanges of the upper end brackets of side frames of single side bulk carriers | | |
| | | Webs and flanges of lower brackets of side frames of single side bulk carriers | 2.2 | 1.2 |
| | | Other parts | 2.0 | 1.2 |
| | Sloped plating of hopper tank, inner bottom plating | Continuous wooden ceiling | 2.0 | 1.2 |
| | | No continuous wooden ceiling | 3.7 | 2.4 |
| Exposed to atmosphere | Horizontal member and weather deck ⁽⁵⁾ | | 1.7 | |
| | Non horizontal member | | 1.0 | |
| Exposed to sea water ⁽⁷⁾ | | | 1.0 | |
| Fuel oil tanks and lubricating oil tanks ⁽²⁾ | | | 0.7 | |
| Fresh water tanks | | | 0.7 | |
| Void spaces ⁽⁶⁾ | Spaces not normally accessed, e.g. access only through bolted manholes openings, pipe tunnels, etc. | | 0.7 | |
| Dry spaces | Internal of deck houses, machinery spaces, stores spaces, pump rooms, steering spaces, etc. | | 0.5 | |
| Other compartments than above | | | 0.5 | |
| Notes | | | | |
| (1) Dry bulk cargo hold includes holds, intended for the carriage of dry bulk cargoes, which may carry water ballast. | | | | |
| (2) The corrosion addition of a plating between water ballast and heated fuel oil tanks is to be increased by 0.7 mm. | | | | |
| (3) This is only applicable to ballast tanks with weather deck as the tank top. | | | | |
| (4) Upper part of the cargo holds corresponds to an area above the connection between the top side and the inner hull or side shell. If there is no top side, the upper part corresponds to the upper one third of the cargo hold height. | | | | |
| (5) Horizontal member means a member making an angle up to 20° as regard as a horizontal line. | | | | |
| (6) The corrosion addition on the outer shell plating in way of pipe tunnel is to be considered as water ballast tank. | | | | |
| (7) Outer side shell between normal ballast draught and scantling draught is to be increased by 0.5 mm. | | | | |

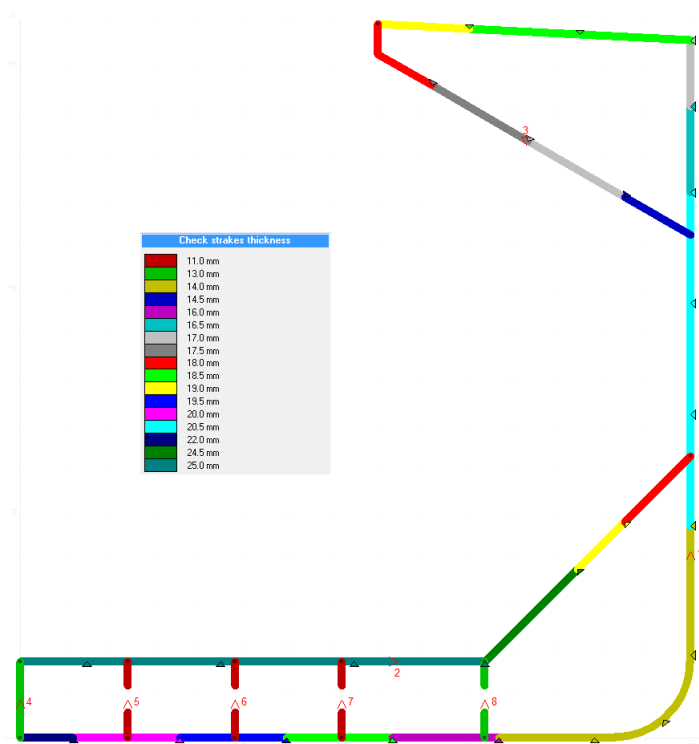
3. ANALIZA PROTOTIPA I ODABIR VARIJANTE

3.1. Glavne karakteristike prototipa

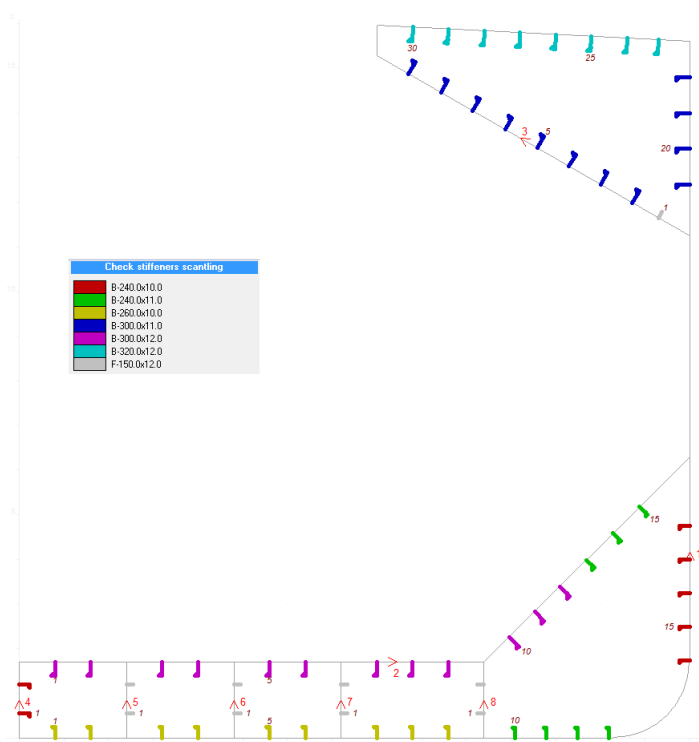
Model prototipa je napravljen na osnovi dostupne tehničke dokumentacije brodogradilišta Uljanik za novogradnju 724. U nastavku su dane osnovne karakteristike novogradnje.

Osnovni podaci

| | |
|------------------------|-----------|
| Novogradnja | 724 |
| Proračunska duljina | 173.630 m |
| Duljina preko svega | 183.000 m |
| Duljina između okomica | 175.000 m |
| Širina | 30.000 m |
| Visina | 15.600 m |
| Gaz | 11.300 m |
| Blok Koeficijent | 0.8068 |
| Brzina | 15.8 čv |



Slika 6. Debljine limova prototipa P800



Slika 7. Dimenzije uzdužnjaka prototipa P800

3.2. Analiza prototipa

Provjera podobnosti konstrukcije prototipa bit će napravljena programom klasifikacijskog društva *Bureau Veritas* MARS [4]. Podobnost se u ovom slučaju izražava kao omjer zahtijeva strukture (Demand) i mogućnosti strukture (Capability). Zbog međusobnih utjecaja elemenata, oplata, rebara boka i uzdužnih ukrepa, lokalna podobnost za te elemente će se razlikovati od globalno ostvarene podobnosti. Globalni kriterij čvrstoće je zadovoljen ako je aktualni moment otpora veći od zahtijevanog momenta otpora presjeka. Program MARS izračunava oba momenta (Slika 8). Graničnom izdržljivošću smatra se najmanja čvrstoća trupa, čije premašivanje dovodi do loma.

| | Rule | Actual | | at z / BL | k |
|-------------------|----------|---------------|------------------------|------------|------|
| Modulus at deck | 9.92807 | 10.03158 (m3) | | 15.600 (m) | 0.72 |
| Modulus at bottom | 9.92807 | 16.20000 (m3) | | 0.000 (m) | 0.72 |
| Inertia | 59.61111 | 96.64618 (m4) | (for information only) | | |

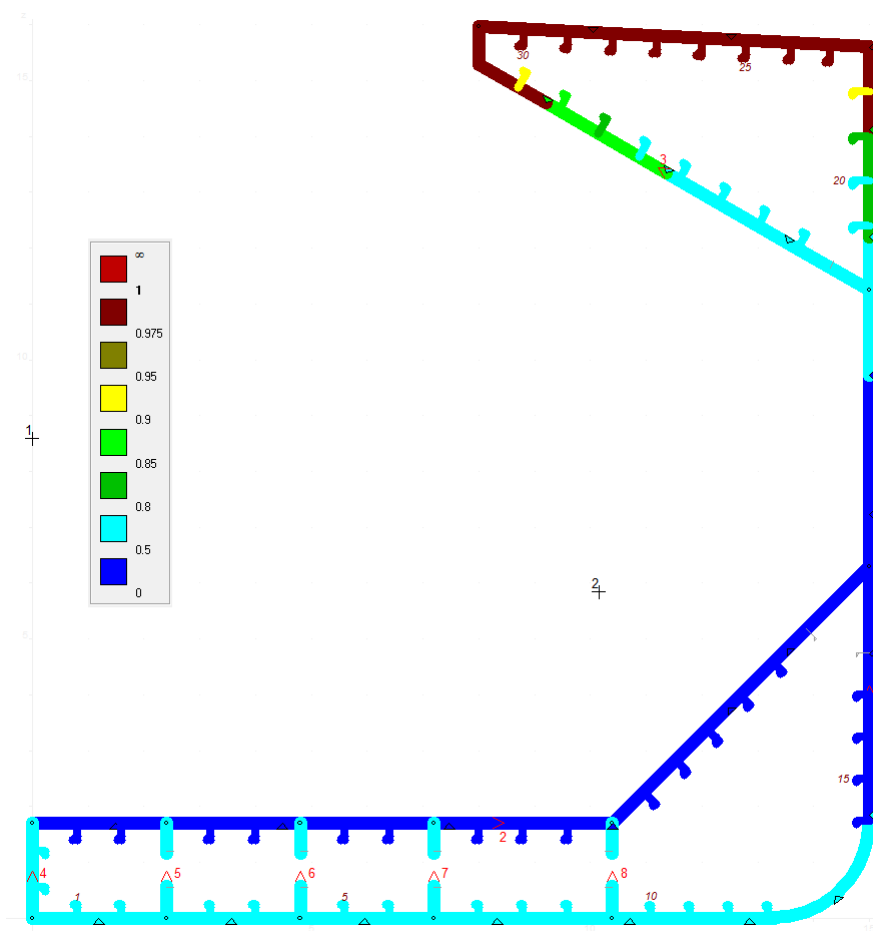
Slika 8. Kriterij globalne čvrstoće za prototip P800

Ultimate Bending Capacity (kN.m)
Calculated with net scantling (with corrosion margin x 0.5)

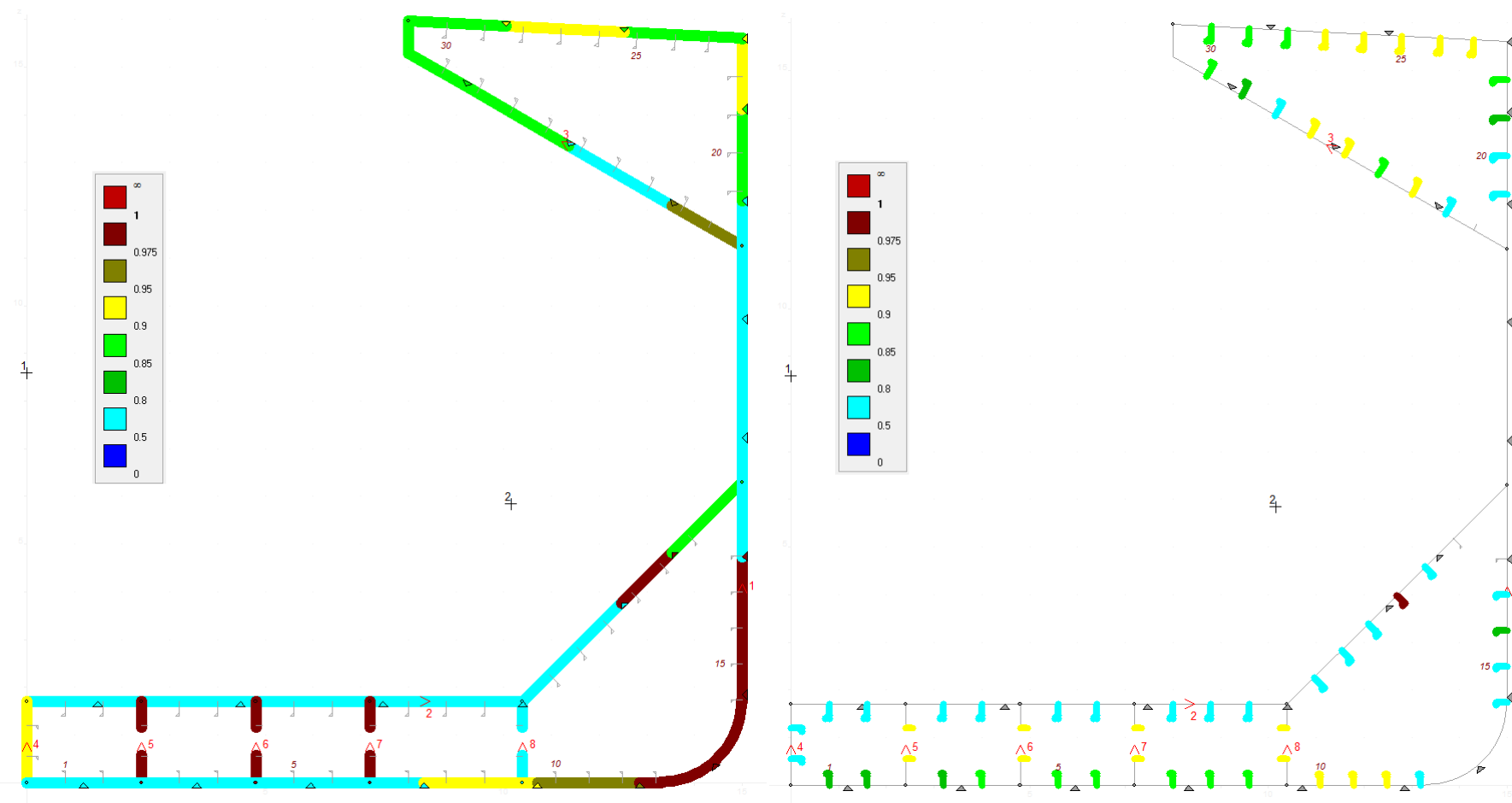
| | Mu | | Ultimate | Mb | % | |
|---------|--------------|------------|--------------|--------------|-------|---------|
| Hogging | 4 543 482. | Navigation | 4 130 438. | 2 837 618. | 68.70 | Hogging |
| Sagging | - 3 157 242. | | - 2 870 220. | - 2 747 756. | 95.73 | Sagging |
| | | Harbour | 4 130 438. | 2 682 367. | 64.94 | Hogging |
| | | | - 2 870 220. | - 2 579 910. | 89.89 | Sagging |
| | | Damaged | 4 130 438. | 2 787 081. | 67.48 | Hogging |
| | | | - 2 870 220. | - 2 843 703. | 99.08 | Sagging |

The hull girder ultimate bending moment capacity is calculated with a code developed by the Technical University of Szczecin

Slika 9. Kriterij granične čvrstoće za prototip P800



Slika 10. Globalni kriteriji podobnosti za prototip P800



Slika 11. Lokalna podobnost vojeva i uzdužnjaka za prototip P800

3.3. Odabir varijante

Prototipna konstrukcija modificirana je na način da je zadržana geometrija, a promijenjen je razmak rebara, razmak okvira u dnu i palubi, te je izbačen jedan uzdužni nosač u dvodnu. Razmatrana su tri projekta, jedan sa razmakom rebara 885 mm (Projekt P885) i dva sa razmakom 735 mm (Projekt P735a i Projekt P735b). I projekt P735a i P735b imaju jednak razmak okvira u dnu , ali im se razlikuje razmak okvira u palubi. Razmaci okvira za prototip i sva tri projekta prikazani su u tablici 10.

Tablica 10. Razmaci okvira

| Projekti | Razmak rebara | Razmak okvira u dnu | Razmak okvira u palubi |
|---------------|---------------|---------------------|------------------------|
| Prototip P800 | 800 | 2400 | 4000 |
| Projekt P885 | 885 | 2655 | 5310 |
| Projekt P735a | 735 | 2205 | 4410 |
| Projekt P735b | 735 | 2205 | 3675 |

Za sva tri projekta provedena je provjera podobnosti konstrukcije te su za sve varijante predložene nove dimenzije koje zadovoljavaju sve kriterije. Reprogramiranje je provedeno programom klasifikacijskog društva *Bureau Veritas* MARS. Bitno je napomenuti da MARS provjerava samo podobnost uzdužne strukture i poprečnih rebara (nema provjere rebrenica, okvira uzvojnih tankova) . Također nema pravila za led i pravila za opterećenja nastala uslijed težine tereta (Steel Coils). Iz tog razloga dimenzije poprečnih struktura nisu mijenjane, dok su dimenzije uzdužnjaka pokrova dvodna, debljine oplata pokrova dvodna i boka izračunate prema CSR pravilima [1], posebno za svaki projekt. U tablici 11. prikazani su kriteriji globalne i granične čvrstoće za prototip i sva tri projekta.

Tablica 11. Kriterij globalne i granične čvrstoće

| Projekti | Modulus at Deck | | Ultimate Strength | | |
|---------------|-----------------|----------|-------------------|----------------|-------|
| | Rule | Actual | Ultimate | M _b | % |
| Prototip P800 | 9.92807 | 10.03158 | -2870220 | -2843703 | 99.08 |
| Projekt P885 | 9.92807 | 10.13229 | -2873393 | -2843703 | 98.97 |
| Projekt P735a | 9.92807 | 10.05054 | -2866579 | -2843703 | 99.20 |
| Projekt P735b | 9.92807 | 10.02157 | -2861138 | -2843703 | 99.39 |

Ciljevi projektnog postupka su minimizacija mase i maksimizacija mjera sigurnosti. U tu svrhu proveden je proračun masa konstrukcije. Masu uzdužnih elemenata konstrukcije dobijemo iz MARSa. Odnosno MARS nam daje površinu svih uzdužnih elemenata presjeka. Ako tu površinu pomnožimo sa duljinom skladišta te s gustoćom čelika, dobijemo ukupnu masu uzdužne strukture.

Masu poprečne strukture dobijemo tako da izmjerimo (iz dostupne tehničke dokumentacije) površine pojedinih elemenata (rebrenica, okvir u uzvojnem tanku, okvir u palubi), te pomnožimo sa debljinama i gustoćom. Time smo dobili masu jednog okvira. Ukupnu masu poprečnih struktura dobijemo množenjem broja poprečnih elemenata sa masom jednog okvira. Zbrajanjem mase uzdužne i poprečne strukture dobijemo ukupnu masu za svaki projekt.

Tablica 12. Proračun mase limova jednog okvira

| | Limovi | | | |
|--------------|----------------|----------|----------------|------|
| | Površina | Debljina | Volumen | Masa |
| | m ² | m | m ³ | t |
| Rebrenica 1 | 10.0745 | 0.012 | 0.121 | 0.95 |
| Rebrenica 2 | 5.9945 | 0.013 | 0.078 | 0.61 |
| Uzvojni tank | 12.4974 | 0.015 | 0.187 | 1.47 |
| Wing tank | 13.2679 | 0.015 | 0.199 | 1.56 |
| Σ | / | / | 0.585 | 4.59 |

Tablica 13. Proračun mase ukrepa jednog okvira

| | Ukrepe | | | | |
|--------------|---------|--------|----------|----------------|--------|
| | Duljina | Visina | Debljina | Volumen | Masa |
| | m | m | m | m ³ | t |
| Rebrenica 1 | 10.040 | 0.180 | 0.012 | 0.0217 | 0.1702 |
| Rebrenica 2 | 7.760 | 0.180 | 0.012 | 0.0168 | 0.1316 |
| Uzvojni tank | 19.865 | 0.180 | 0.012 | 0.0429 | 0.3368 |
| Wing tank | 18.034 | 0.150 | 0.012 | 0.0325 | 0.2548 |
| Σ | 55.699 | / | / | 0.1138 | 0.8935 |

Tablica 14. Proračun ukupne poprečne strukture

| | Rebrenice | | | Uzvojni tank | | |
|---------------|-----------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | masa | komada | ukupno | masa | komada | ukupno |
| Prototip P800 | 3.73 | 11 | 40.98 | 3.62 | 11 | 39.78 |
| Projekt P885 | 3.73 | 10 | 37.25 | 3.62 | 10 | 36.17 |
| Projekt P735a | 3.73 | 12 | 44.70 | 3.62 | 12 | 43.40 |
| Projekt P735b | 3.73 | 12 | 44.70 | 3.62 | 12 | 43.40 |
| | Wing tank | | | Rebra | | |
| | masa | komada | ukupno | masa | komada | ukupno |
| Prototip P800 | 3.63 | 6 | 21.81 | 0.82 | 31 | 25.31 |
| Projekt P885 | 3.63 | 5 | 18.17 | 0.87 | 28 | 24.49 |
| Projekt P735a | 3.63 | 6 | 21.81 | 0.74 | 34 | 25.29 |
| Projekt P735b | 3.63 | 6 | 21.81 | 0.74 | 34 | 25.29 |

Tablica 15. Ukupna masa

| | Ukupno pop. Struktura | Uzd. struktura | Ukupno |
|---------------|-----------------------|----------------|--------|
| Prototip P800 | 127.88 | 686.34 | 814.21 |
| Projekt P885 | 116.08 | 702.59 | 818.67 |
| Projekt P735a | 135.20 | 673.13 | 808.33 |
| Projekt P735b | 135.20 | 672.21 | 807.41 |

Iz tablice 15. vidimo da projekt P885 ima veće masu od prototipa, dok projekti P735a i P735b imaju manju masu. Premda projekt P735b ima najmanju mase on nije odabran za daljnju analizu. Za očekivat je da će zbog većeg razmaka okvira u palubi dimenzije poprečne strukture biti veće nego kod projekta P735a.

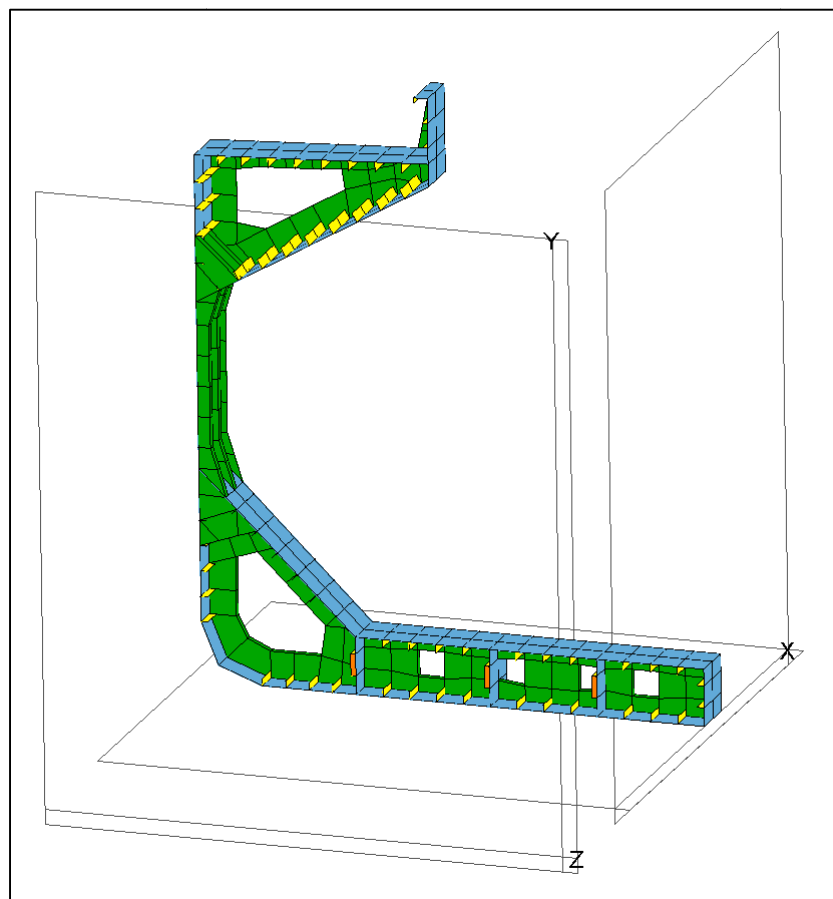
Za daljnju analizu u fazi 2 i strukturnu optimizaciju odabran je projekt P735a kao projekt s minimalnom masom iz faze 1.

4. ANALIZA ODABRANOG PROJEKTA

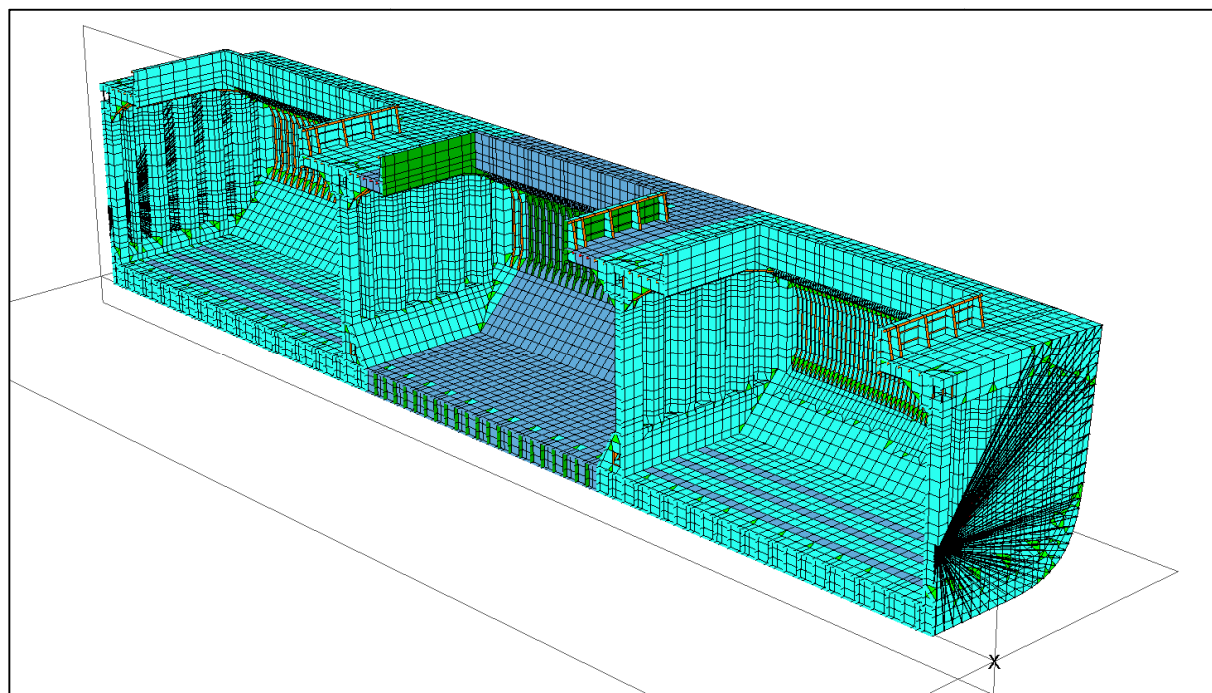
Modifikacija prethodno izrađenog prototipnog MKE modela provedena je pomoću programa MAESTRO [3]. Prvo je izrađen polovični model svih skladišta, u kojem se nalaze svi elementi konstrukcije kao npr: uzdužnjaci dna, oplata pokrova dna korugirane pregrade, uzdužnjaci uzvojnog tanka, rebrenice, itd. Nakon toga je cijeli model preslikan kako bi se dobio cjeloviti model. Pri izradi modela korištene su dvije vrste konačnih elemenata. Od četverokutnog pločastog elementa izrađena je cjelokupna struktura osim dijelova uzdužnjaka. Uzdužnjaci su u projektu navedeni kao HP profili (bulb profili), a modelirani su kao T profili pomoću tablice ekvivalentnih profila. Na slikama 12 ÷ 18 prikazan je model.

Za novo definiranu strukturu implementirani su slučajevi opterećenja sukladno Pravilima IACS CSR (BC) [1]. Detaljan opis slučajeva opterećenja dan je u poglavlju 2.1. Analiza podobnosti izvršena je pomoću programa MAESTRO-View3D [3]. Opis kriterija podobnosti dan je u poglavlju 2.2. U tablici 16. prikazane su mase i položaji težišta po podstrukturama za skladište 3 Projekta P735a, dobivene pomoću programa MAESTRO [3]. U tablicama i slikama koje slijede prikazani su postignuti kriteriji podobnosti.

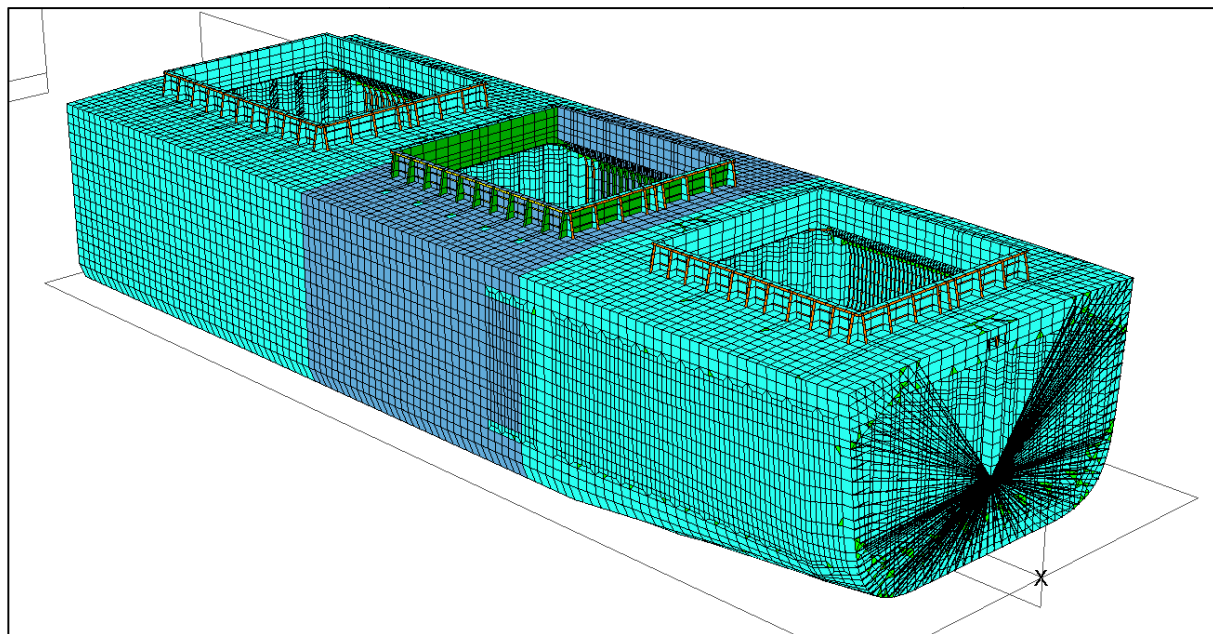
Iz tablica 17 ÷ 19 i slika 19 ÷ 28 vidimo da određeni strukturni elementi ne zadovoljavaju. Očekivano, zbog manje broja a istih strukturnih dimenzija, jaki uzdužni nosači ne zadovoljavaju. S druge strane strukturni elementi kojima je smanjen razmak (npr. rebrenice i okviri u uzvojnim tankovima) su predimenzionirani.



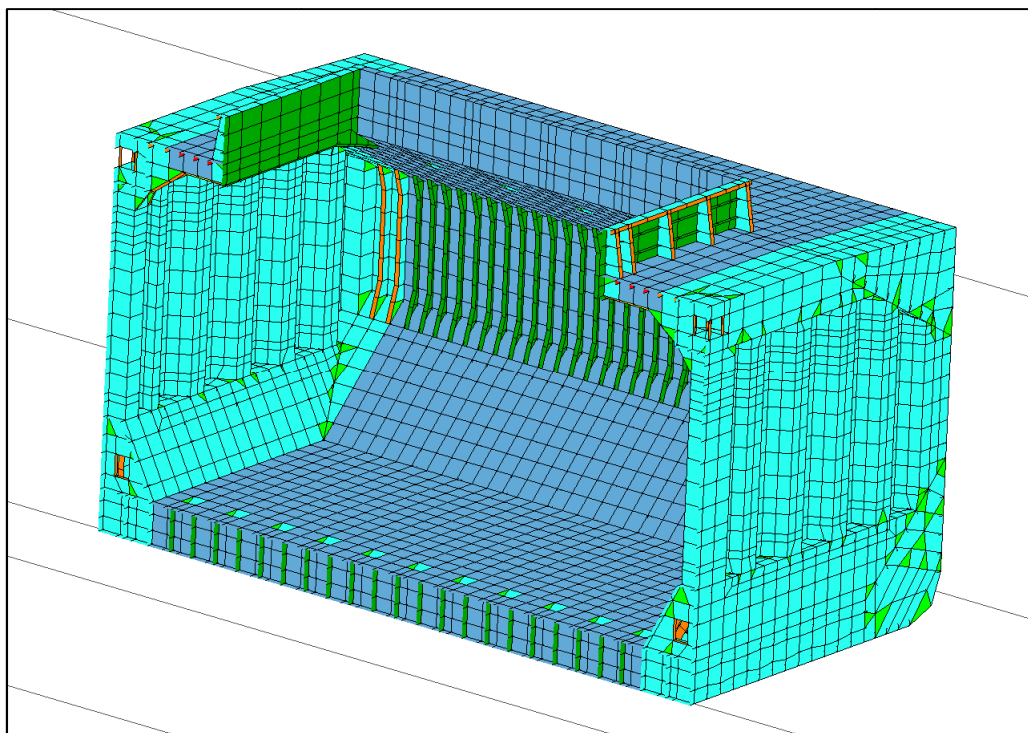
Slika 12. Model glavnog rebra



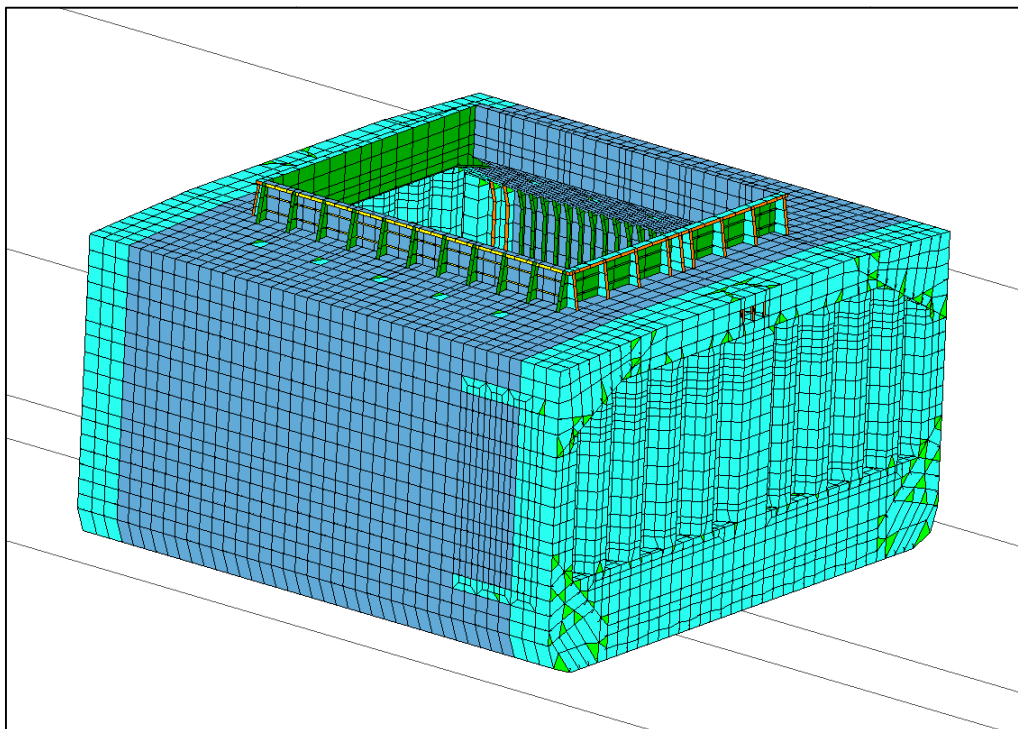
Slika 13. Polovinski model tri skladišta



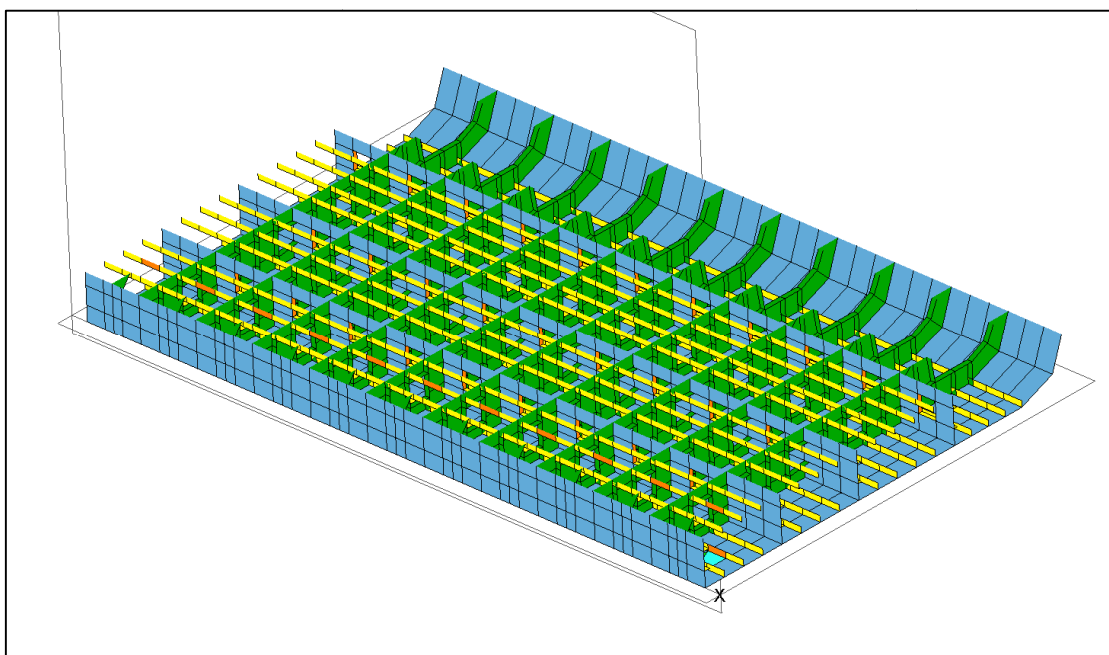
Slika 14. Cijeli model tri skladišta



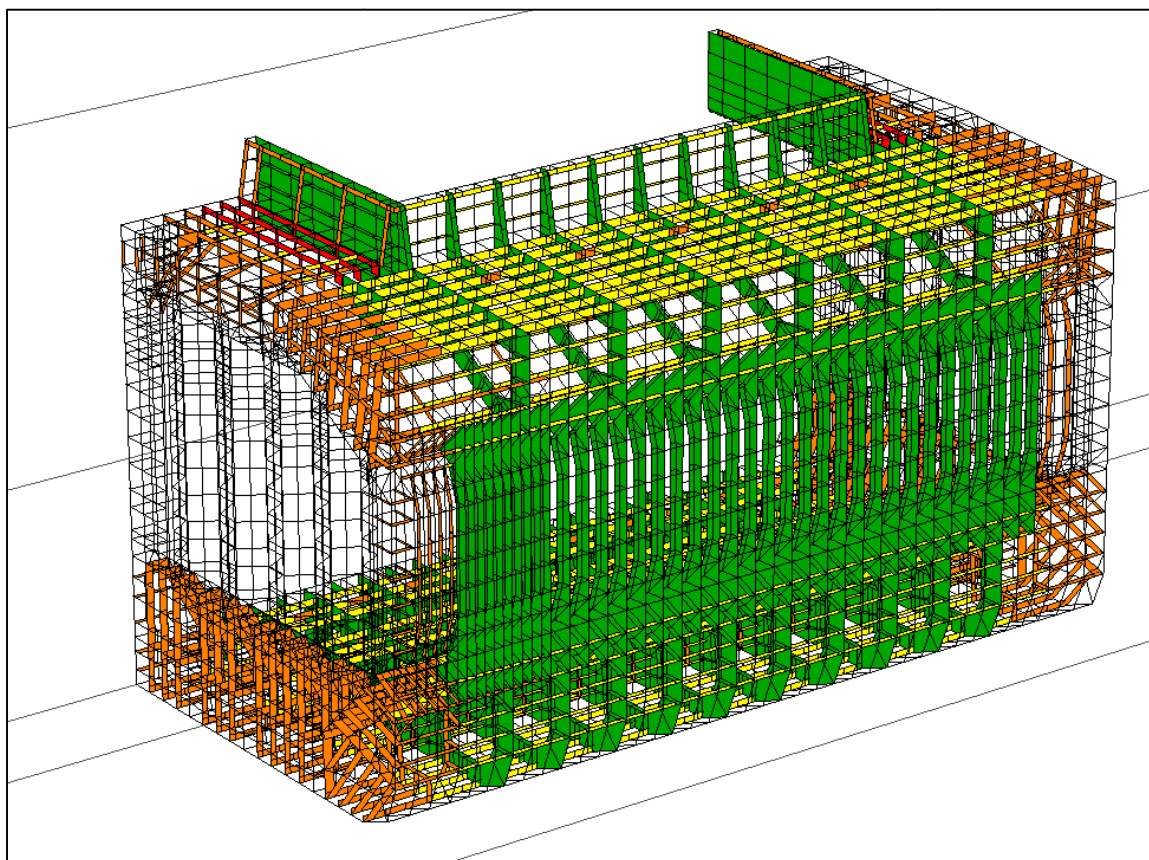
Slika 15. Polovinski model skladišta 3



Slika 16. Cijeli model skladišta 3



Slika 17. Roštilj dvodna



Slika 18. Poprečna struktura

Tablica 16. Proračun masa za Projekt P735a

| MASS(kg) | XCG(mm) | YCG(mm) | ZCG(mm) | Module Name |
|---------------|--|---------|----------|-------------------------------|
| 1732 | 99030.7 | 15645.4 | 9112.69 | /top/hold3_stb/wb_fr.130.5 |
| 1740 | 102707.0 | 15651.6 | 9107.34 | /top/hold3_stb/wb_fr.135.5 |
| 1749 | 106381.0 | 15657.8 | 9102.03 | /top/hold3_stb/wb_fr.140.5 |
| 1740 | 95354.9 | 15651.6 | 9107.34 | /top/hold3_stb/wb_fr.125.5 |
| 1749 | 91680.7 | 15657.8 | 9102.03 | /top/hold3_stb/wb_fr.120.5 |
| 15237 | 109281.0 | 8406.3 | 14614.8 | /top/hold3_stb/si_fr.142-147 |
| 69076 | 108391.0 | 7100.7 | 8703.91 | /top/hold3_stb/oth_fr.140-147 |
| 211643 | 99067.7 | 6288.1 | 10362.2 | /top/hold3_stb/oth_fr.121-140 |
| 83503 | 89559.0 | 7324.0 | 9715.91 | /top/hold3_stb/oth_fr.114-121 |
| 552 | 109994.0 | 924.4 | 766.156 | /top/hold3_stb/cgb_fr.145.5 |
| 581 | 107853.0 | 925.1 | 770.176 | /top/hold3_stb/cgb_fr.142.5 |
| 586 | 105648.0 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.139.5 |
| 586 | 103443.0 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.136.5 |
| 586 | 101238.0 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.133.5 |
| 586 | 99032.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.130.5 |
| 586 | 96827.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.127.5 |
| 586 | 94622.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.124.5 |
| 586 | 92417.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.121.5 |
| 581 | 90212.6 | 925.1 | 770.176 | /top/hold3_stb/cgb_fr.118.5 |
| 552 | 88071.2 | 924.4 | 766.156 | /top/hold3_stb/cgb_fr.115.5 |
| 1749 | 106381.0 | 15657.8 | -9102.03 | /top/hold3_ps/wb_fr.140.5 |
| 1740 | 102707.0 | 15651.6 | -9107.34 | /top/hold3_ps/wb_fr.135.5 |
| 1732 | 99030.7 | 15645.4 | -9112.69 | /top/hold3_ps/wb_fr.130.5 |
| 1740 | 95354.9 | 15651.6 | -9107.34 | /top/hold3_ps/wb_fr.125.5 |
| 1749 | 91680.7 | 15657.8 | -9102.03 | /top/hold3_ps/wb_fr.120.5 |
| 15237 | 109281.0 | 8406.3 | -14614.8 | /top/hold3_ps/si_fr.142-147 |
| 70443 | 108397.0 | 7079.0 | -8535 | /top/hold3_ps/oth_fr.140-147 |
| 213618 | 99067.4 | 6237.9 | -10266.3 | /top/hold3_ps/oth_fr.121-140 |
| 84870 | 89555.4 | 7302.4 | -9559.41 | /top/hold3_ps/oth_fr.114-121 |
| 703 | 109993.0 | 908.9 | -595.109 | /top/hold3_ps/cgb_fr.145.5 |
| 743 | 107852.0 | 909.2 | -596.435 | /top/hold3_ps/cgb_fr.142.5 |
| 728 | 105647.0 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.139.5 |
| 728 | 103442.0 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.136.5 |
| 728 | 101237.0 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.133.5 |
| 728 | 99032.2 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.130.5 |
| 728 | 96827.2 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.127.5 |
| 728 | 94622.2 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.124.5 |
| 728 | 92417.2 | 905.0 | -616.123 | /top/hold3_ps/cgb_fr.121.5 |
| 743 | 90212.1 | 909.2 | -596.435 | /top/hold3_ps/cgb_fr.118.5 |
| 703 | 88070.7 | 908.9 | -595.109 | /top/hold3_ps/cgb_fr.115.5 |
| 208872 | 112611.0 | 7497.9 | -13.5917 | /top/hold3/fr.147-150 |
| 207476 | 85448.3 | 7491.8 | -13.6832 | /top/hold3/fr.111-114 |
| 1211.75 [t] | ==>Total Module Weight(Full Ship, Exclude Tank Weight) | | | |

Tablica 17. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a

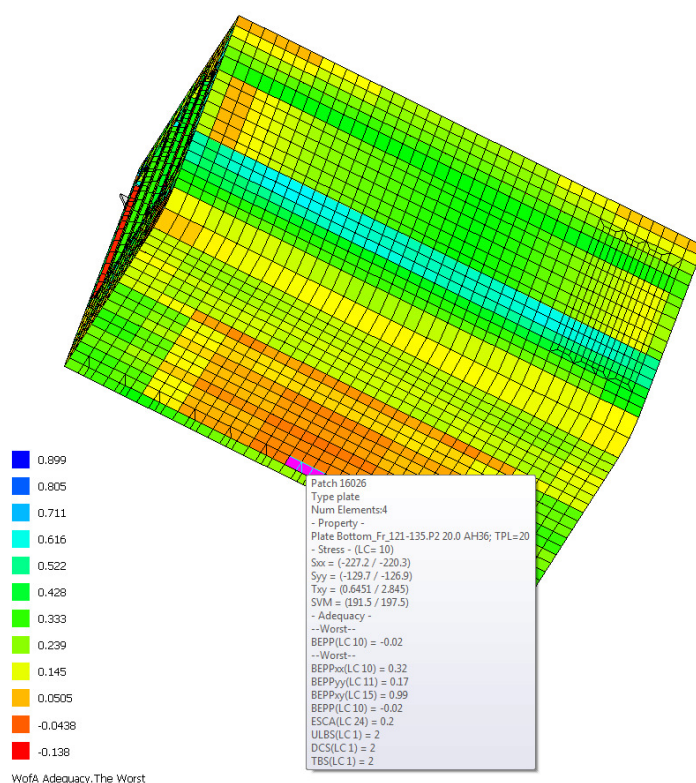
| Structure - Projekt P735a | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx/BYCF | BEPPyy/BYTF | BEPPxy/BYCP | BEPP/BYTP | ESCA/BYSX | Weight |
|---------------------------|--|-----------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| Bilge_Fr_71-176 | Plate Bilge_Fr_71-176.P1 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.068 | 22 | 27.403 | 10.129 | 29.42 | 22.068 | 24.289 | 4.35E+04 |
| Bottom_Fr_107-121 | Plate Bottom_Fr_107-121.P1 22.0 AH36 | TPL=22 | 0.278 | 21 | 10.463 | 20.793 | 23.91 | 10.415 | 21.278 | 2934 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.03 | 10 | 10.303 | 20.212 | 19.888 | 10.03 | 31.276 | 7601 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P3 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.008 | 10 | 10.281 | 20.204 | 10.83 | 10.008 | 31.253 | 7401 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P4 17.5 AH36 | TPL=17.5 | 0.036 | 18 | 10.248 | 20.204 | 30.739 | 18.036 | 31.283 | 7001 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P5 15.0 AH36 | TPL=15 | 0.004 | 18 | 10.167 | 20.185 | 30.647 | 18.004 | 31.301 | 6001 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P6 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.127 | 22 | 22.186 | 20.451 | 30.578 | 22.127 | 22.276 | 6534 |
| Bottom_Fr_121-135 | Plate Bottom_Fr_121-135.P1 22.0 AH36 | TPL=22 | 0.225 | 24 | 10.388 | 11.707 | 23.957 | 10.321 | 24.225 | 3859 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P2 20.0 AH36 | TPL=20 | -0.02 | 10 | 10.319 | 16.153 | 19.966 | -10.02 | 24.199 | 1.05E+04 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P3 19.5 AH36 | TPL=19.5 | -0.02 | 10 | 10.3 | 16.152 | 18.929 | -10.02 | 24.227 | 1.03E+04 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P4 18.5 AH36 | TPL=18.5 | -0.005 | 10 | 10.269 | 16.163 | 18.907 | -10.005 | 24.261 | 9735 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P5 16.0 AH36 | TPL=16 | 0.014 | 10 | 10.174 | 16.219 | 10.896 | 10.014 | 32.275 | 8419 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P6 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.16 | 10 | 10.163 | 20.495 | 30.666 | 10.16 | 24.261 | 8595 |
| Bottom_Fr_135-149 | Plate Bottom_Fr_135-149.P1 22.0 AH36 | TPL=22 | 0.284 | 17 | 10.459 | 16.788 | 23.909 | 10.412 | 17.284 | 2492 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.027 | 14 | 10.303 | 16.208 | 15.89 | 14.027 | 32.272 | 6456 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P3 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.008 | 10 | 10.28 | 16.198 | 29.82 | 10.008 | 32.247 | 6286 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P4 17.5 AH36 | TPL=17.5 | 0.032 | 14 | 10.25 | 16.197 | 29.721 | 14.032 | 32.276 | 5946 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P5 15.0 AH36 | TPL=15 | 0.003 | 14 | 22.152 | 16.181 | 29.621 | 14.003 | 22.294 | 5097 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P6 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.139 | 22 | 22.177 | 16.481 | 29.576 | 22.139 | 22.284 | 5550 |
| BottomGirder_Fr_107-121 | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 15.0 AH32 | TPL=15 | -0.106 | 6 | 22.424 | 5.866 | -23.073 | -23.089 | -6.106 | 2125 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 13.0 AH32 | TPL=13 | -0.124 | 6 | 10.305 | 20.606 | -6.085 | -23.109 | -6.124 | 3586 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 12.0 AH32 | TPL=12 | -0.092 | 23 | 10.241 | 21.384 | -23.075 | -23.092 | -6.087 | 3253 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.042 | 23 | 22.295 | 11.148 | 23.111 | 11.053 | 23.042 | 3060 |
| BottomGirder_Fr_121-135 | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.06 | 24 | 22.262 | 23.883 | 23.232 | 10.126 | 24.06 | 2423 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 11.0 AH32 | TPL=11 | -0.008 | 23 | 10.174 | 23.473 | 23.119 | 23.048 | -23.008 | 3522 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 11.0 AH32 | TPL=11 | 0.094 | 23 | 10.18 | 23.35 | 23.285 | 10.108 | 23.094 | 3522 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.014 | 11 | 10.334 | 11.095 | 23.641 | 11.014 | 24.227 | 4163 |
| BottomGirder_Fr_135-149 | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 15.0 AH32 | TPL=15 | -0.11 | 6 | 22.419 | 31.855 | -23.086 | -23.104 | -6.11 | 1805 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 13.0 AH32 | TPL=13 | -0.128 | 23 | 10.307 | 16.602 | -23.088 | -23.114 | -23.128 | 3031 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 11.5 AH32 | TPL=11.5 | -0.163 | 23 | 10.215 | 17.363 | -23.146 | -23.163 | -9.098 | 2594 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.037 | 23 | 22.281 | 11.141 | 23.103 | 11.046 | 23.037 | 2731 |
| Deck_Fr_106-152 | Plate Deck_Fr_106-152.P5 20.0 ST24 | TPL=20 | -0.068 | 4 | 11.422 | 11.415 | 4.033 | -4.068 | -4.034 | 8638 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P6 17.5 ST24 | TPL=17.5 | 0.257 | 1 | 1.32 | 5.613 | 25.533 | 1.257 | 23.258 | 1.22E+04 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P7 16.5 ST24 | TPL=16.5 | 0.211 | 1 | 1.232 | 1.432 | 26.639 | 1.211 | 1.232 | 1.15E+04 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P8 15.0 ST24 | TPL=15 | 0.114 | 1 | 1.165 | 1.165 | 25.825 | 1.114 | 1.253 | 3471 |
| Deck_Fr_107-149 | Plate Deck_Fr_107-149.P1 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.014 | 22 | 11.248 | 23.562 | 29.775 | 22.111 | 22.014 | 2.15E+04 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P2 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.025 | 22 | 11.209 | 23.224 | 28.725 | 22.025 | 22.035 | 2.35E+04 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P3 19.0 AH36 | TPL=19 | -0.102 | 22 | 11.066 | -11.047 | 4.402 | -22.102 | -22.068 | 2.36E+04 |
| DeckGirderWeb | Plate DeckGirderWeb.P1 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.176 | 18 | 18.357 | 18.304 | 18.631 | 18.176 | 4.272 | 1.87E+04 |

Tablica 18. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a

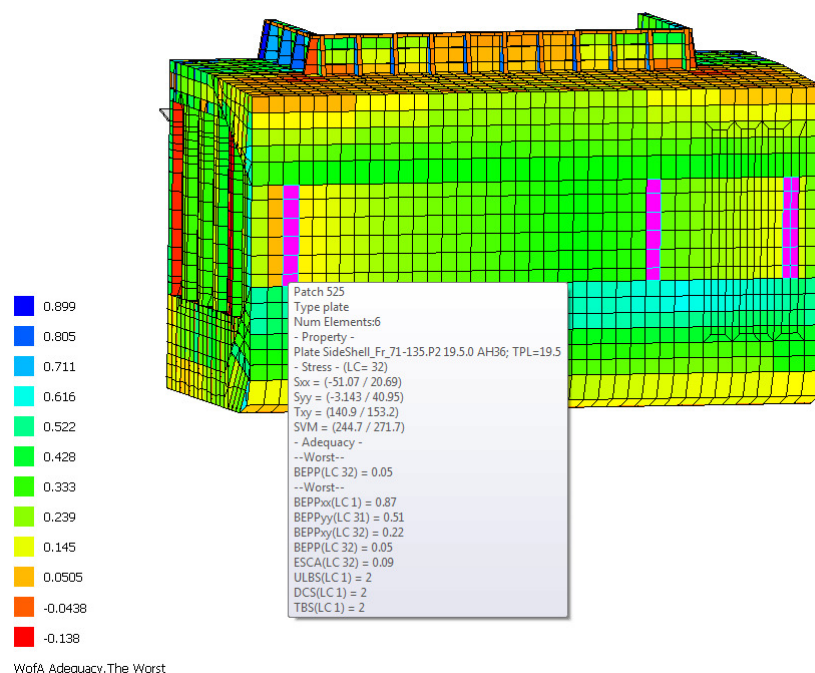
| Structure - Projekt P735a | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx/BYCF | BEPPyy/BYTF | BEPPxy/BYCP | BEPP/BYTP | ESCA/BYSX | Weight |
|-----------------------------|--|-----------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| Floor_Fr_111-147 | Plate Floor_Fr_111-147.P1 13.5 AH36 | TPL=13.5 | 0.03 | 17 | 5.479 | 17.102 | 31.285 | 17.03 | 31.219 | 7495 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P21 12.0 AH36 | TPL=12 | 0.019 | 17 | 17.51 | 17.087 | 31.451 | 17.019 | 31.231 | 4175 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P22 12.0 AH36 | TPL=12 | 0.075 | 17 | 17.693 | 17.161 | 9.501 | 17.075 | 9.361 | 1809 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P31 12.0 ST24 | TPL=12 | -0.03 | 21 | 23.523 | 21.005 | 23.137 | -21.03 | 23.075 | 6843 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P32 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.052 | 21 | 23.63 | 17.191 | 23.512 | 21.052 | 23.423 | 2515 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P33 13.5 AH32 | TPL=13.5 | 0.032 | 21 | 23.662 | 17.253 | 32.271 | 21.032 | 32.128 | 2611 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P41 12.0 ST24 | TPL=12 | 0.068 | 17 | 11.484 | 17.079 | 23.648 | 17.068 | 23.244 | 5426 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P42 15.0 ST24 | TPL=15 | 0.011 | 23 | 21.679 | 11.211 | 23.044 | 23.014 | 23.011 | 4032 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P43 16.0 ST24 | TPL=16 | 0.015 | 23 | 11.686 | 11.296 | 23.05 | 23.024 | 23.015 | 2150 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P44 15.0 AH32 | TPL=15 | 0.038 | 32 | 23.779 | 17.338 | 32.119 | 32.115 | 32.038 | 2901 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P45 18.0 AH32 | TPL=18 | 0.039 | 32 | 11.859 | 17.54 | 32.128 | 32.122 | 32.039 | 3482 |
| HatchH3 | Plate Floor_Fr_111-147.P46 18.0 AH32 | TPL=18 | 0.028 | 32 | 11.857 | 21.547 | 32.108 | 32.101 | 32.028 | 3482 |
| | Plate HatchH3.P1 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.281 | 1 | 1.287 | 1.725 | 1.725 | 1.281 | 22.373 | 6208 |
| | Plate HatchH3.P2 15.0 AH36 | TPL=15 | 0.141 | 22 | 11.449 | 4.997 | 4.861 | 22.358 | 22.141 | 3313 |
| | Plate HatchH3.P3 17.0 AH36 | TPL=17 | -0.058 | 22 | 11.903 | 11.346 | 11.607 | 11.125 | -22.058 | 589.1 |
| | Plate HatchH3.P4 15.5 AH36 | TPL=15.5 | -0.015 | 22 | 11.208 | 22.807 | 22.58 | 22.096 | -22.015 | 5195 |
| HatchWeb | Plate HatchH3.P5 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.022 | 11 | 11.024 | 29.807 | 22.844 | 11.022 | 22.06 | 3128 |
| HatchWeb | Plate HatchWeb.P1 10.0 AH36 | TPL=10 | 0.53 | 7 | 24.883 | 27.717 | 4.763 | 7.53 | 4.666 | 7732 |
| Hopper_Fr_107-121 | Plate Hopper_Fr_107-121.P2 20.0 AH36 | TPL=20 | 0.017 | 23 | 22.654 | 21.362 | 23.174 | 23.023 | 23.017 | 5598 |
| Hopper_Fr_121-135 | Plate Hopper_Fr_107-121.P3 19.0 AH32 | TPL=19 | 0.038 | 23 | 23.569 | 23.574 | 23.154 | 23.038 | 23.04 | 7125 |
| | Plate Hopper_Fr_121-135.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.107 | 11 | 22.59 | 11.147 | 23.48 | 11.107 | 23.237 | 6995 |
| | Plate Hopper_Fr_121-135.P3 18.0 AH32 | TPL=18 | 0.102 | 29 | 11.798 | 23.332 | 29.319 | 29.102 | 29.206 | 9572 |
| Hopper_Fr_135-149 | Plate Hopper_Fr_135-149.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | -0.013 | 23 | 22.596 | 17.236 | 23.159 | -23.013 | 23.012 | 4517 |
| | Plate Hopper_Fr_135-149.P3 18.0 AH32 | TPL=18 | 0.03 | 23 | 23.616 | 23.505 | 23.116 | 23.06 | 23.03 | 5521 |
| HopperTransverse_Fr_111-147 | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 12.5 AH3 | TPL=12.5 | 0.134 | 2 | 9.627 | 2.17 | 9.583 | 2.134 | 28.559 | 6105 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 20.0 ST2 | TPL=20 | 0.325 | 32 | 4.932 | 23.905 | 32.843 | 32.822 | 32.325 | 1231 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 12.0 AH3 | TPL=12 | 0.074 | 23 | 28.291 | 23.374 | 23.418 | 23.074 | 23.289 | 2323 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 11.0 ST2 | TPL=11 | 0.046 | 23 | 12.379 | 1.461 | 23.411 | 23.046 | 23.332 | 2412 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 20.0 ST | TPL=20 | 0.548 | 1 | 23.95 | 1.8 | 1.96 | 1.795 | 1.548 | 3317 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 17.0 ST | TPL=17 | 0.544 | 23 | 23.864 | 9.863 | 1.942 | 1.764 | 23.544 | 939.8 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 12.0 ST2 | TPL=12 | 0.1 | 1 | 11.235 | 28.561 | 23.383 | 1.1 | 27.223 | 1596 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 13.5 AH3 | TPL=13.5 | 0.044 | 23 | 28.454 | 23.267 | 23.228 | 23.044 | 23.137 | 5227 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 11.0 ST2 | TPL=11 | 0.047 | 23 | 28.392 | 23.216 | 23.382 | 23.047 | 23.276 | 4824 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 20.0 ST2 | TPL=20 | 0.473 | 23 | 23.949 | 11.804 | 23.966 | 11.802 | 23.473 | 8845 |
| LowerStoolWeb | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 12.5 ST2 | TPL=12.5 | 0.089 | 1 | 11.174 | 28.602 | 23.251 | 1.089 | 23.184 | 3324 |
| SideShell_Fr_107-149 | Plate LowerStoolWeb.P1 12.0 AH32 | TPL=12 | 0.036 | 18 | 18.471 | 18.11 | 32.681 | 18.036 | 18.275 | 5352 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P1 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.255 | 29 | 18.378 | 3.389 | 29.55 | 29.255 | 31.433 | 2.22E+04 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P3 16.5 AH36 | TPL=16.5 | 0.195 | 22 | 11.324 | 11.407 | 32.592 | 24.308 | 22.195 | 1.39E+04 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P4 17.0 AH36 | TPL=17 | 0.037 | 22 | 11.197 | 27.889 | 32.732 | 22.157 | 22.037 | 1.44E+04 |

Tablica 19. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a

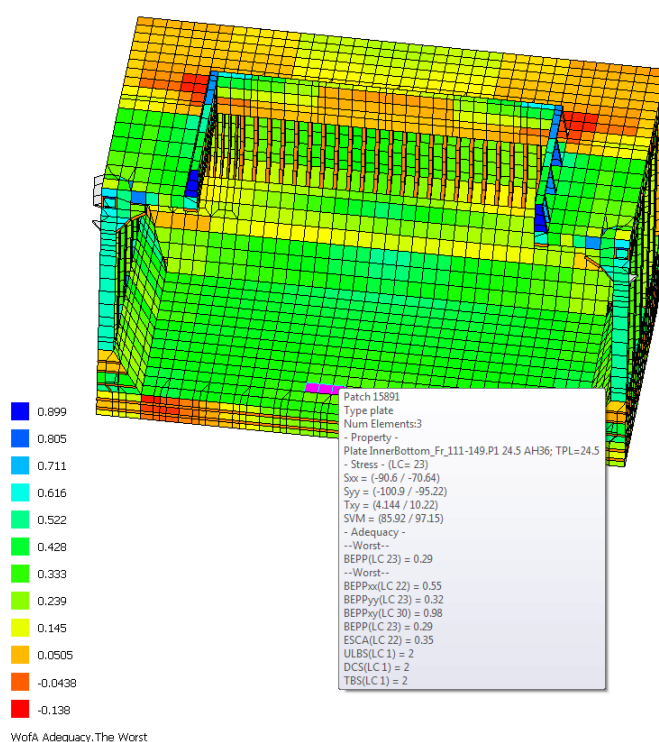
| Structure - Projekt P735a | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx/BYCF | BEPPyy/BYTF | BEPPxy/BYCP | BEPP/BYTP | ESCA/BYSX | Weight |
|---------------------------|--|-----------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| UpperStoolH3 | Plate UpperStoolH3.P1 12.5 AH36 | TPL=12.5 | 0.043 | 18 | 1.261 | 18.142 | 7.528 | 18.043 | 12.376 | 9731 |
| | Plate UpperStoolH3.P2 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.028 | 24 | 1.255 | 1.126 | 31.244 | 24.028 | 7.105 | 3874 |
| | Plate UpperStoolH3.P3 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.125 | 1 | 1.254 | 32.253 | 4.449 | 1.125 | 27.15 | 3004 |
| UpperStoolWeb | Plate UpperStoolWeb.P1 10.0 ST24 | TPL=10 | -0.032 | 28 | 21.34 | 18.518 | 28.137 | -28.032 | 7.095 | 2225 |
| | Plate UpperStoolWeb.P2 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.187 | 28 | 18.485 | 21.602 | 27.461 | 32.284 | 28.187 | 2675 |
| | Plate UpperStoolWeb.P3 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.043 | 4 | 17.535 | 18.85 | 27.211 | 27.201 | 4.043 | 748 |
| WebBelowHatch | Plate WebBelowHatch.P1 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.071 | 23 | 23.098 | 22.186 | 1.902 | 23.071 | 23.4 | 2776 |
| | Plate WebBelowHatch.P2 24.0 AH36 | TPL=24 | 0.167 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1.167 | 2744 |
| | Plate WebBelowHatch.P3 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.162 | 23 | 23.19 | 20.997 | 1.887 | 23.162 | 23.212 | 4564 |
| Wing_Fr_107-121 | Plate Wing_Fr_107-121.P2 17.0 AH36 | TPL=17 | -0.046 | 1 | 21.278 | 23.02 | 32.519 | -1.046 | 32.194 | 6971 |
| | Plate Wing_Fr_107-121.P3 17.5 AH36 | TPL=17.5 | -0.08 | 1 | 21.165 | 23.038 | 32.592 | -1.08 | 22.15 | 7235 |
| Wing_Fr_107-149 | Plate Wing_Fr_107-149.P1 14.5 AH32 | TPL=14.5 | 0.095 | 32 | 21.39 | 21.428 | 31.238 | 31.174 | 32.095 | 1.06E+04 |
| Wing_Fr_121-149 | Plate Wing_Fr_121-149.P2 17.0 AH36 | TPL=17 | -0.052 | 23 | 17.296 | -23.001 | 31.47 | -23.052 | 31.155 | 1.51E+04 |
| | Plate Wing_Fr_121-149.P3 17.5 AH36 | TPL=17.5 | -0.074 | 1 | 11.174 | 23.019 | 31.599 | -1.074 | 22.123 | 1.57E+04 |
| Wing_Fr_72-149 | Plate Wing_Fr_72-149.P5 18.0 AH36 | TPL=18 | 0.077 | 22 | 11.175 | 11.24 | 18.627 | 11.125 | 22.077 | 8047 |
| Wing_Fr_79-149 | Plate Wing_Fr_79-149.P4 18.0 AH36 | TPL=18 | 0.031 | 22 | 11.122 | 21.129 | 7.431 | 21.089 | 22.031 | 2.89E+04 |
| WingTransverse_Fr_111-147 | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.454 | 1 | 1.954 | 22.821 | 12.879 | 22.753 | 1.454 | 1656 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 14.0 AH32 | TPL=14 | 0.081 | 22 | 22.567 | 22.097 | 12.361 | 22.081 | 12.324 | 6573 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.345 | 32 | 30.855 | 32.776 | 7.904 | 32.525 | 32.345 | 1185 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.083 | 31 | 30.474 | 30.472 | 31.432 | 31.083 | 31.206 | 770 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.03 | 22 | 1.276 | 22.037 | 7.488 | 22.03 | 5.225 | 3865 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.299 | 27 | 22.799 | 27.878 | 27.601 | 27.551 | 27.299 | 1185 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 14.0 AH32 | TPL=14 | 0.209 | 27 | 22.579 | 27.574 | 27.47 | 27.215 | 27.209 | 829.2 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 14.0 AH32 | TPL=14 | 0.066 | 22 | 22.288 | 22.09 | 27.448 | 22.066 | 27.259 | 4162 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.247 | 27 | 22.746 | 27.85 | 27.517 | 27.469 | 27.247 | 4738 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 14.0 AH32 | TPL=14 | 0.072 | 27 | 22.163 | 22.27 | 28.341 | 27.072 | 28.193 | 8325 |



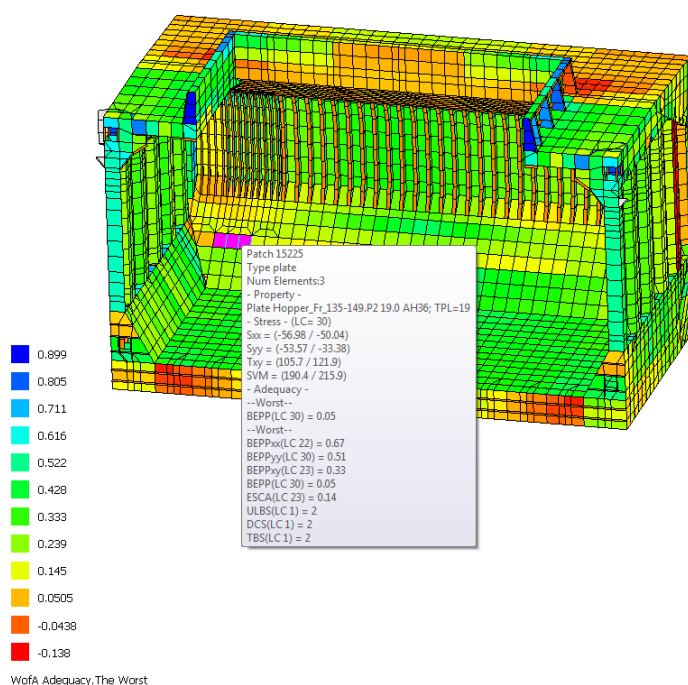
Slika 19. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a



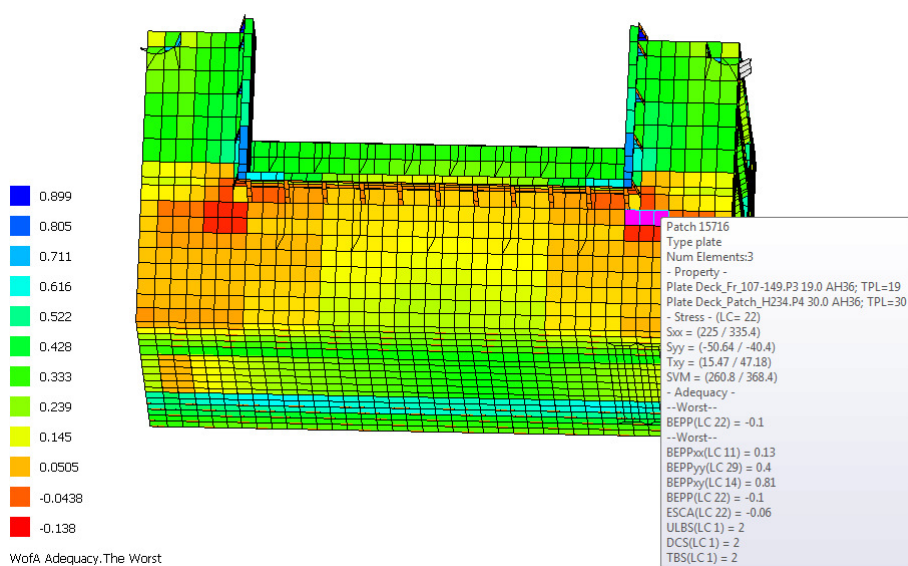
Slika 20. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a



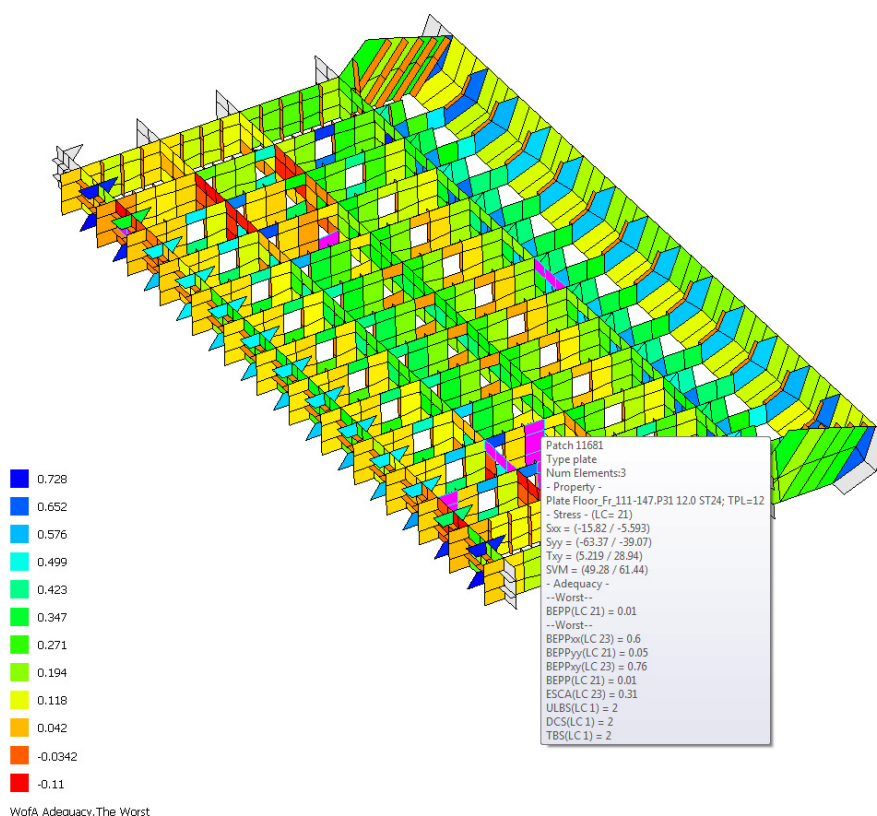
Slika 21. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata pokrova dvodna za Projekt P735a



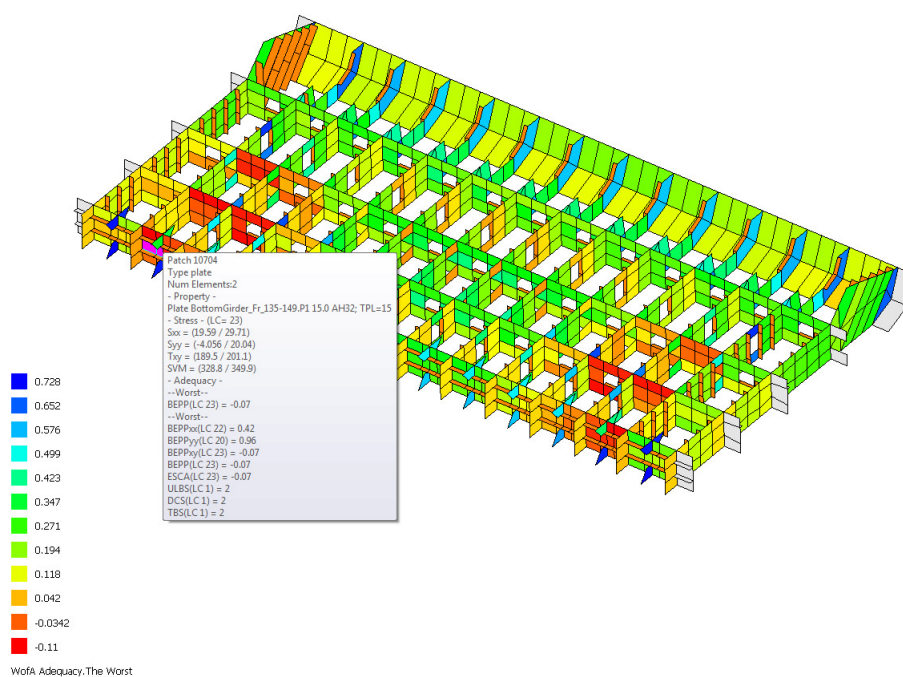
Slika 22. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata uzvojnog tanka za Projekt P735a



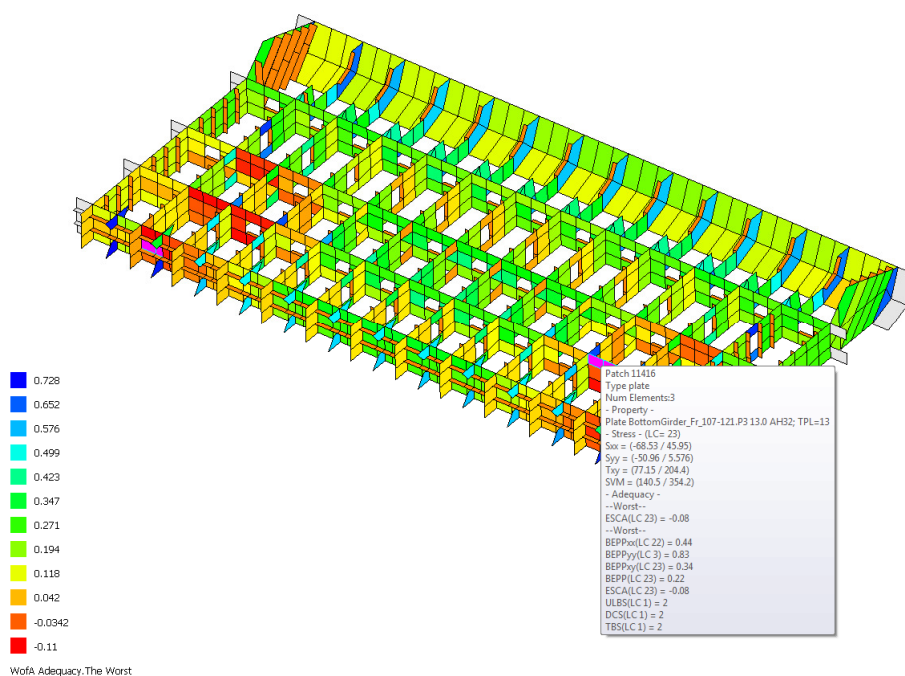
Slika 23. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a



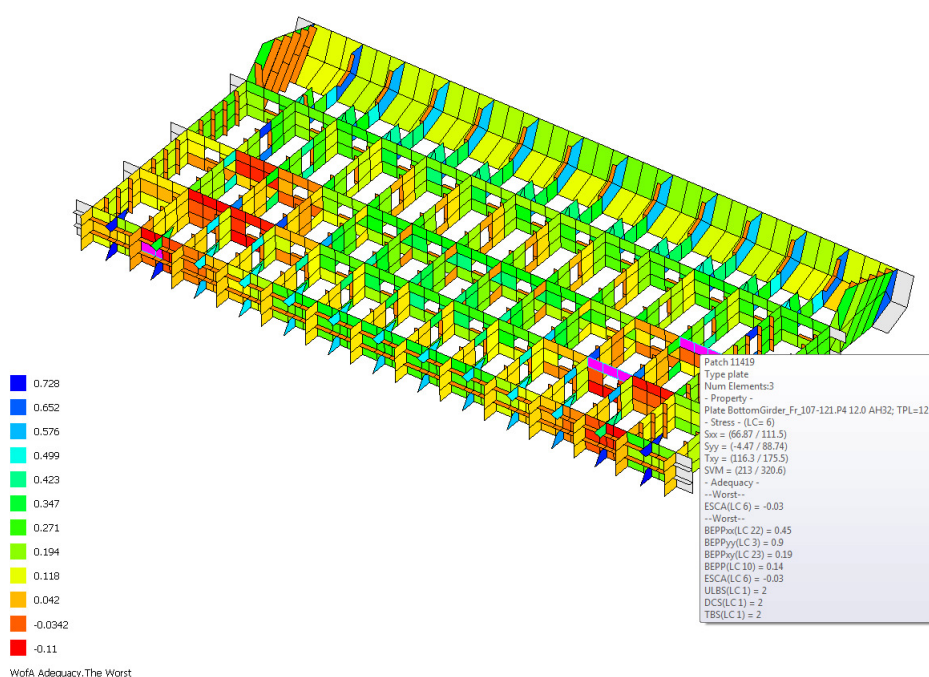
Slika 24. Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a



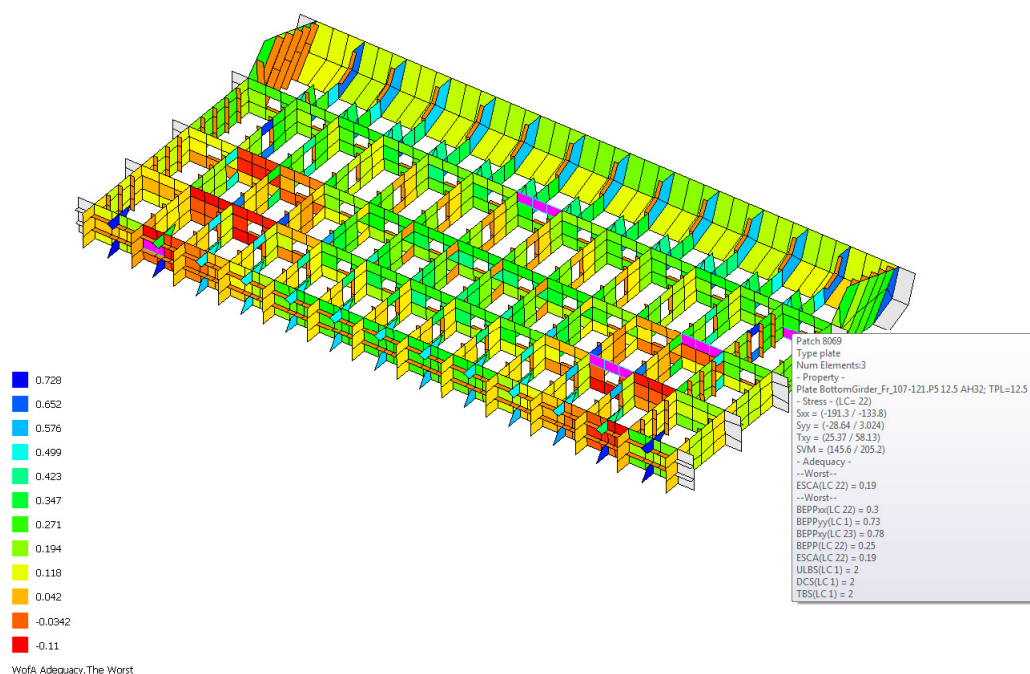
Slika 25. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a



Slika 26. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a



Slika 27. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a



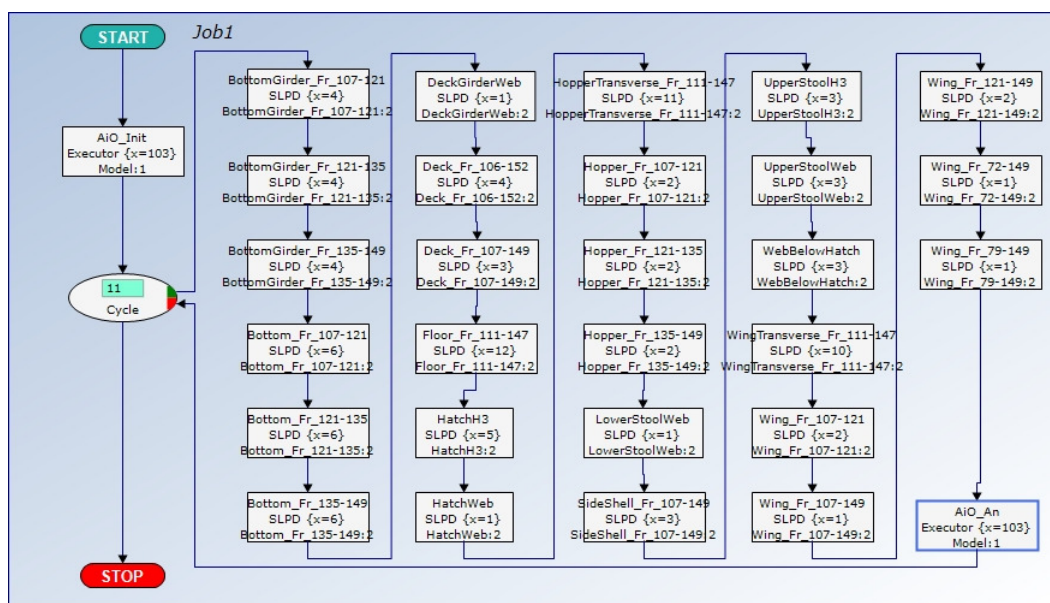
Slika 28. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a

5. OPTIMIZACIJA

5.1. Optimizacijska metoda

Većina optimizacijskih metoda je numeričko-iterativnog tipa te zahtjeva uporabu računala. Optimizacijski postupak uvodi sistematsku metodologiju određivanja vrijednosti projektnih varijabli koje minimiziraju ili maksimiziraju zadanu mjeru kvalitete i istovremeno zadovoljavaju projektna ograničenja. Projektni parametri uključuju projektne varijable koje su definirane unutar tzv. profila zadatka. Mjere kvalitete definirane su pomoću skupa funkcija preslikavanja, a neke tipične kriterijske funkcije su: minimalna cijena, minimalna masa, itd. Projektni prostor je prostor omeđen projektnim varijablama. Svaki projekt je predstavljen točkom unutar tog prostora. Ti projekti moraju zadovoljavati dani skup funkcija ograničenja (npr. dozvoljena naprezanja, kutovi izvijanja, dozvoljeni progibi, itd.). Funkcije cilja su atributi minimalne mase i minimalnog vertikalnog težišta.

Za optimizaciju korištena je programska aplikacija OCTOPUS DeMak [5]. Kao optimizacijska metoda primijenjeno je Sekvencijalno linearno programiranje (SLP) [6].



Slika 29. Dijagram toka optimizacije

5.2. Definicija optimizacijskog problema

U diplomskom radu će se provesti strukturna optimizacija broda za rasuti teret s ciljem minimizacije mase. Korištena je programska aplikacija OCTOPUS DeMak [5]. Dok je kao optimizacijska metoda primijenjeno Sekvencijalno linearno programiranje (SLP).

Projektne varijable su debljina limova uzdužnih nosača, rebrenica, okvira u dnu i palubi. Radi pojednostavljenja i vremenskog ograničenja uzdužnjaci, rebra, ukrepe, koljena itd., nisu uključeni u optimizaciju. U tablici 20. dane su minimalne i maksimalne debljine limova. Minimalne debljine limova dobivene su programom MARS.

Projektna ograničenja su faktori podobnosti konstrukcije prikazani u poglavlju 2.2.

Prva od mjera sigurnosti je $g_{<0.05}$ a računa se kao suma svih faktora podobnosti, na svim evaluacijskim elementima (*patch*) podstrukture, koji imaju vrijednost manju od 0.05. Ova mjera daje indicaciju količine narušenosti podobnosti.

$$g_{<0.05} = \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_c} g_{ij} \Big|_{<0.05}$$

Druga mjera sigurnosti, $g_{\min 5\%}$ računa srednju vrijednost najgorih 5% svih faktora podobnost i na svim *patchevima* podstrukture s tim da se ne uzimaju u obzir faktori podobnosti koji imaju vrijednost > 0.15 . Mjera daje indicaciju sigurnosti podstrukture, s tim da ta mjera ne prelazi vrijednost 0.15

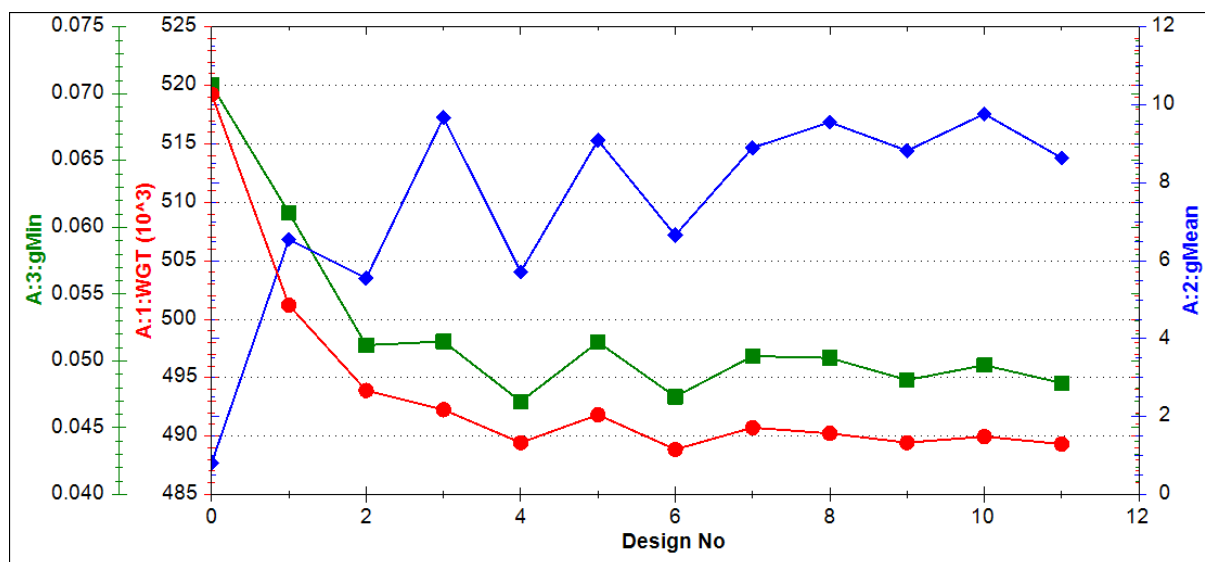
$$g_{\min 5\%} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{5\%}} g_{ij} \Big|_{5\%}}{n_{5\%}}; \quad g_{ij} \Big|_{5\%} \text{ (worst 5\%)}$$

Tablica 20. Minimalne i maksimalne debljine limova

| Property | Min | Max | Property | Min | Max |
|----------------------------|------|-----|----------------------------------|------|-----|
| Bottom_Fr_107-121.P1 | 15.5 | 22 | HatchH3.P1 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_107-121.P2 | 15 | 22 | HatchH3.P2 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_107-121.P3 | 15 | 22 | HatchH3.P3 | 13 | 20 |
| Bottom_Fr_107-121.P4 | 15 | 22 | HatchH3.P4 | 13 | 20 |
| Bottom_Fr_107-121.P5 | 15 | 22 | HatchH3.P5 | 16 | 30 |
| Bottom_Fr_107-121.P6 | 13.5 | 22 | HatchWeb.P1 | 10 | 20 |
| Bottom_Fr_121-135.P1 | 15.5 | 22 | Hopper_Fr_107-121.P2 | 19 | 25 |
| Bottom_Fr_121-135.P2 | 15 | 22 | Hopper_Fr_107-121.P3 | 16 | 25 |
| Bottom_Fr_121-135.P3 | 15 | 22 | Hopper_Fr_121-135.P2 | 19 | 25 |
| Bottom_Fr_121-135.P4 | 15 | 22 | Hopper_Fr_121-135.P3 | 16 | 25 |
| Bottom_Fr_121-135.P5 | 15 | 22 | Hopper_Fr_135-149.P2 | 19 | 25 |
| Bottom_Fr_121-135.P6 | 13.5 | 22 | Hopper_Fr_135-149.P3 | 16 | 25 |
| Bottom_Fr_135-149.P1 | 15.5 | 22 | HopperTransverse_Fr_111-147.P11 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_135-149.P2 | 15 | 22 | HopperTransverse_Fr_111-147.P12 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_135-149.P3 | 15 | 22 | HopperTransverse_Fr_111-147.P21 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_135-149.P4 | 15 | 22 | HopperTransverse_Fr_111-147.P22 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_135-149.P5 | 15 | 22 | HopperTransverse_Fr_111-147.P231 | 11 | 20 |
| Bottom_Fr_135-149.P6 | 13.5 | 22 | HopperTransverse_Fr_111-147.P232 | 11 | 20 |
| BottomGirder_Fr_107-121.P1 | 12.5 | 20 | HopperTransverse_Fr_111-147.P24 | 11 | 20 |
| BottomGirder_Fr_107-121.P3 | 11 | 20 | HopperTransverse_Fr_111-147.P31 | 11 | 20 |
| BottomGirder_Fr_107-121.P4 | 11 | 20 | HopperTransverse_Fr_111-147.P32 | 11 | 20 |
| BottomGirder_Fr_107-121.P5 | 11 | 20 | HopperTransverse_Fr_111-147.P33 | 11 | 20 |
| BottomGirder_Fr_121-135.P1 | 11 | 20 | HopperTransverse_Fr_111-147.P34 | 11 | 20 |
| BottomGirder_Fr_121-135.P3 | 11 | 20 | LowerStoolWeb.P1 | 11 | 25 |
| BottomGirder_Fr_121-135.P4 | 11 | 20 | SideShell_Fr_107-149.P1 | 14 | 18 |
| BottomGirder_Fr_121-135.P5 | 11 | 20 | SideShell_Fr_107-149.P3 | 14.5 | 18 |
| BottomGirder_Fr_135-149.P1 | 12.5 | 20 | SideShell_Fr_107-149.P4 | 14.5 | 18 |
| BottomGirder_Fr_135-149.P3 | 11 | 20 | UpperStoolH3.P1 | 12 | 20 |
| BottomGirder_Fr_135-149.P4 | 11 | 20 | UpperStoolH3.P2 | 12 | 20 |
| BottomGirder_Fr_135-149.P5 | 11 | 20 | UpperStoolH3.P3 | 12 | 20 |
| Bulkhead_111.P1 | 20 | 25 | UpperStoolWeb.P1 | 13 | 20 |
| Bulkhead_147.P1 | 20 | 25 | UpperStoolWeb.P2 | 10 | 20 |
| Deck_Fr_106-152.P5 | 12 | 20 | UpperStoolWeb.P3 | 10 | 20 |
| Deck_Fr_106-152.P6 | 12 | 20 | WebBelowHatch.P1 | 13 | 20 |
| Deck_Fr_106-152.P7 | 12 | 20 | WebBelowHatch.P2 | 11 | 26 |
| Deck_Fr_106-152.P8 | 12 | 20 | WebBelowHatch.P3 | 13 | 20 |
| Deck_Fr_107-149.P1 | 12 | 20 | Wing_Fr_107-121.P2 | 14 | 18 |
| Deck_Fr_107-149.P2 | 12 | 20 | Wing_Fr_107-121.P3 | 13.5 | 18 |
| Deck_Fr_107-149.P3 | 12 | 20 | Wing_Fr_107-149.P1 | 14 | 18 |
| DeckGirderWeb.P1 | 11 | 15 | Wing_Fr_121-149.P2 | 14 | 18 |
| Floor_Fr_111-147.P1 | 11 | 20 | Wing_Fr_121-149.P3 | 13.5 | 18 |
| Floor_Fr_111-147.P21 | 11 | 20 | Wing_Fr_72-149.P5 | 13 | 18 |
| Floor_Fr_111-147.P22 | 11 | 20 | Wing_Fr_79-149.P4 | 13 | 25 |
| Floor_Fr_111-147.P31 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P11 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P32 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P12 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P33 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P211 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P41 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P212 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P42 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P22 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P43 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P311 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P44 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P312 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P45 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P32 | 12 | 20 |
| Floor_Fr_111-147.P46 | 11 | 20 | WingTransverse_Fr_111-147.P41 | 12 | 20 |
| | | | WingTransverse_Fr_111-147.P42 | 12 | 20 |

5.3. Analiza rezultata optimizacije

Optimizacija je provedena u 12 ciklusa. Na slici 30. je prikazan dijagram u kojem su ucrtane vrijednosti mase, gMin i gMean, za svaki ciklus. Vidimo da je masa manja za otprilike 30 t u odnosu na Projekt 735a. Ova masa uključuje samo elemente koji su optimizirani. Detaljan proračun masa dobiven je pomoću programa MAESTRO [3] i prikazan je u tablici 21. U tablicama 22 ÷ 24 prikazani su postignuti kriteriji podobnosti.



Slika 30. Rezultati optimizacije

Tablica 21. Proračun masa za Projekt P735a-Opt

| MASS(kg) | XCG(mm) | YCG(mm) | ZCG(mm) | Module Name |
|---------------|--|---------|----------|-------------------------------|
| 203161 | 85444.9 | 7427.1 | -14.0 | /top/hold3/fr.111-114 |
| 205123 | 112613.0 | 7439.2 | -13.8 | /top/hold3/fr.147-150 |
| 679 | 88070.7 | 946.5 | -597.1 | /top/hold3_ps/cgb_fr.115.5 |
| 717 | 90212.1 | 947.0 | -598.5 | /top/hold3_ps/cgb_fr.118.5 |
| 696 | 92417.3 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.121.5 |
| 696 | 94622.3 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.124.5 |
| 696 | 96827.3 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.127.5 |
| 720 | 107852.0 | 946.2 | -595.8 | /top/hold3_ps/cgb_fr.142.5 |
| 682 | 109993.0 | 945.7 | -594.5 | /top/hold3_ps/cgb_fr.145.5 |
| 82032 | 89554.9 | 7125.8 | -9552.3 | /top/hold3_ps/oth_fr.114-121 |
| 207320 | 99068.5 | 6187.7 | -10214.0 | /top/hold3_ps/oth_fr.121-140 |
| 67920 | 108395.0 | 6867.7 | -8502.0 | /top/hold3_ps/oth_fr.140-147 |
| 15069 | 109281.0 | 8390.7 | -14613.6 | /top/hold3_ps/si_fr.142-147 |
| 1718 | 91680.8 | 15636.2 | -9128.4 | /top/hold3_ps/wb_fr.120.5 |
| 1730 | 95357.0 | 15645.3 | -9120.5 | /top/hold3_ps/wb_fr.125.5 |
| 1742 | 99030.7 | 15654.2 | -9112.7 | /top/hold3_ps/wb_fr.130.5 |
| 1730 | 102704.0 | 15645.3 | -9120.5 | /top/hold3_ps/wb_fr.135.5 |
| 1718 | 106381.0 | 15636.2 | -9128.4 | /top/hold3_ps/wb_fr.140.5 |
| 696 | 99032.3 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.130.5 |
| 696 | 101237.0 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.133.5 |
| 696 | 103442.0 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.136.5 |
| 696 | 105647.0 | 931.8 | -633.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.139.5 |
| 524 | 88071.3 | 974.5 | 782.2 | /top/hold3_stb/cgb_fr.115.5 |
| 551 | 90212.8 | 975.6 | 786.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.118.5 |
| 566 | 92417.8 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.121.5 |
| 566 | 94622.8 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.124.5 |
| 566 | 96827.8 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.127.5 |
| 566 | 99032.8 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.130.5 |
| 566 | 101238.0 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.133.5 |
| 566 | 103443.0 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.136.5 |
| 566 | 105648.0 | 949.9 | 787.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.139.5 |
| 551 | 107853.0 | 975.1 | 786.7 | /top/hold3_stb/cgb_fr.142.5 |
| 524 | 109994.0 | 974.0 | 782.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.145.5 |
| 80674 | 89558.2 | 7149.7 | 9713.1 | /top/hold3_stb/oth_fr.114-121 |
| 205485 | 99068.9 | 6235.3 | 10305.2 | /top/hold3_stb/oth_fr.121-140 |
| 66546 | 108389.0 | 6892.9 | 8677.5 | /top/hold3_stb/oth_fr.140-147 |
| 15069 | 109281.0 | 8390.7 | 14613.6 | /top/hold3_stb/si_fr.142-147 |
| 1718 | 91680.8 | 15636.2 | 9128.4 | /top/hold3_stb/wb_fr.120.5 |
| 1730 | 95357.0 | 15645.3 | 9120.5 | /top/hold3_stb/wb_fr.125.5 |
| 1742 | 99030.7 | 15654.2 | 9112.7 | /top/hold3_stb/wb_fr.130.5 |
| 1730 | 102704.0 | 15645.3 | 9120.5 | /top/hold3_stb/wb_fr.135.5 |
| 1718 | 106381.0 | 15636.2 | 9128.4 | /top/hold3_stb/wb_fr.140.5 |
| 1179.46 [t] | ==>Total Module Weight(Full Ship, Exclude Tank Weight) | | | |

Tablica 22. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt

| Structure - Projekt P735a-Opt | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx | BEPPyy | BEPPxy | BEPP | ESCA | Weight |
|-------------------------------|--|-----------------|--------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Bottom_Fr_107-121 | Plate Bottom_Fr_107-121.P1 22.0 AH36 | TPL=16.07 | 0 | 10 | 10.157 | 20.481 | 23.841 | 10 | 21.243 | 2144 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P2 19.0 AH36 | TPL=18.41 | 0 | 10 | 10.255 | 20.189 | 19.877 | -10 | 31.272 | 7364 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P3 18.5 AH36 | TPL=18.34 | 0 | 10 | 10.252 | 20.201 | 10.81 | -10 | 31.247 | 7336 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P4 17.5 AH36 | TPL=16.94 | -0.001 | 18 | 10.21 | 20.172 | 30.715 | -18.001 | 31.271 | 6778 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P5 15.0 AH36 | TPL=15.05 | 0 | 18 | 22.156 | 20.186 | 30.645 | -18 | 22.291 | 6020 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P6 14.0 AH36 | TPL=13.5 | 0.074 | 22 | 22.144 | 20.407 | 30.535 | 22.074 | 22.262 | 6302 |
| Bottom_Fr_121-135 | Plate Bottom_Fr_121-135.P1 22.0 AH36 | TPL=17.51 | 0 | 10 | 10.156 | 16.455 | 10.919 | 10 | 24.175 | 3072 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P2 20.0 AH36 | TPL=20.19 | 0 | 10 | 10.305 | 16.177 | 19.969 | -10 | 24.196 | 1.06E+04 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P3 19.5 AH36 | TPL=19.71 | -0.001 | 10 | 10.286 | 16.176 | 18.93 | -10.001 | 24.221 | 1.04E+04 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P4 18.5 AH36 | TPL=18.57 | 0 | 10 | 10.251 | 16.171 | 18.906 | -10 | 24.252 | 9772 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P5 16.0 AH36 | TPL=15.94 | 0 | 10 | 10.159 | 16.188 | 10.896 | -10 | 32.272 | 8389 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P6 14.0 AH36 | TPL=13.5 | 0.119 | 10 | 10.123 | 20.448 | 30.628 | 10.119 | 24.255 | 8288 |
| Bottom_Fr_135-149 | Plate Bottom_Fr_135-149.P1 22.0 AH36 | TPL=16.08 | 0 | 10 | 10.156 | 16.474 | 23.837 | -10 | 32.236 | 1822 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P2 19.0 AH36 | TPL=18.46 | 0 | 14 | 10.258 | 16.187 | 15.88 | -14 | 32.269 | 6271 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P3 18.5 AH36 | TPL=18.33 | 0 | 10 | 10.252 | 16.197 | 10.811 | -10 | 32.242 | 6227 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P4 17.5 AH36 | TPL=16.97 | 0 | 14 | 10.211 | 16.169 | 29.697 | -14 | 32.261 | 5767 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P5 15.0 AH36 | TPL=15.03 | 0 | 14 | 22.141 | 16.182 | 29.618 | -14 | 22.284 | 5106 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P6 14.0 AH36 | TPL=13.5 | 0.09 | 22 | 22.136 | 16.437 | 29.534 | 22.09 | 22.271 | 5352 |
| BottomGirder_Fr_107-121 | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 15.0 AH32 | TPL=15.4 | -0.083 | 6 | 22.434 | 5.886 | -23.012 | -23.029 | -6.083 | 2183 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 13.0 AH32 | TPL=15.18 | -0.085 | 6 | 22.469 | 20.752 | -23.007 | -23.022 | -6.085 | 4187 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 12.0 AH32 | TPL=12.71 | -0.069 | 6 | 10.286 | 21.439 | 23.023 | -23.001 | -6.069 | 3444 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 12.5 AH32 | TPL=12.06 | -0.001 | 11 | 22.247 | 11.09 | 23.097 | -11.001 | 23.035 | 2952 |
| BottomGirder_Fr_121-135 | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 13.0 AH32 | TPL=11.8 | 0.001 | 24 | 10.159 | 23.827 | 23.191 | 10.002 | 24.001 | 2200 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 11.0 AH32 | TPL=11 | -0.049 | 6 | 10.152 | 23.483 | 23.075 | 23.009 | -6.049 | 3522 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 11.0 AH32 | TPL=11 | 0.064 | 23 | 10.167 | 23.345 | 23.243 | 10.093 | 23.064 | 3522 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 13.0 AH32 | TPL=12.98 | 0 | 11 | 10.32 | 11.079 | 23.639 | -11 | 10.222 | 4158 |
| BottomGirder_Fr_135-149 | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 15.0 AH32 | TPL=15.74 | -0.081 | 6 | 22.451 | 31.893 | -23.009 | -23.028 | -6.081 | 1895 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 13.0 AH32 | TPL=15.16 | -0.084 | 9 | 22.463 | 16.742 | -23.008 | -23.023 | -9.084 | 3535 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 11.5 AH32 | TPL=12.77 | -0.069 | 9 | 22.303 | 17.463 | 23.016 | 23 | -9.069 | 2879 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 12.5 AH32 | TPL=12.11 | -0.001 | 11 | 22.239 | 11.09 | 23.094 | -11.001 | 23.033 | 2645 |
| Deck_Fr_106-152 | Plate Deck_Fr_106-152.P5 20.0 ST24 | TPL=17.4 | -0.159 | 4 | 11.219 | 11.216 | -4.063 | -4.159 | -4.08 | 7513 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P6 17.5 ST24 | TPL=14.56 | 0 | 1 | 23.053 | 5.45 | 25.395 | 1 | 23.185 | 1.01E+04 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P7 16.5 ST24 | TPL=13.98 | 0 | 1 | 1.024 | 1.168 | 26.508 | 1 | 1.16 | 9707 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P8 15.0 ST24 | TPL=13.61 | 0 | 1 | 1.052 | 1.053 | 25.783 | 1 | 1.213 | 3150 |
| Deck_Fr_107-149 | Plate Deck_Fr_107-149.P1 18.5 AH36 | TPL=14.17 | -0.028 | 22 | 11.014 | 23.213 | 29.434 | 11 | -22.028 | 1.65E+04 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P2 18.5 AH36 | TPL=18.22 | 0 | 22 | 11.168 | 23.198 | 28.702 | -22 | 22.009 | 2.31E+04 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P3 19.0 AH36 | TPL=20 | -0.095 | 22 | 11.078 | -11.019 | 4.474 | -22.095 | -22.072 | 2.49E+04 |
| DeckGirderWeb | Plate DeckGirderWeb.P1 12.5 AH32 | TPL=11.07 | 0 | 18 | 18.222 | 18.185 | 4.428 | 18 | 4.234 | 1.66E+04 |

Tablica 23. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt

| Structure - Projekt P735a-Opt | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx | BEPPyy | BEPPxy | BEPP | ESCA | Weight |
|-------------------------------|--|-----------------|--------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Floor_Fr_111-147 | Plate Floor_Fr_111-147.P1 13.5 AH36 | TPL=13.13 | 0 | 17 | 5.447 | 17.078 | 31.248 | 17 | 31.213 | 7291 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P21 12.0 AH36 | TPL=12.04 | -0.001 | 17 | 17.509 | 17.07 | 31.468 | -17.001 | 31.208 | 4191 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P22 12.0 AH36 | TPL=11.18 | 0 | 17 | 21.617 | 17.091 | 6.427 | -17 | 9.357 | 1685 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P31 12.0 ST24 | TPL=12.33 | -0.002 | 21 | 23.553 | 21.03 | 23.172 | -21.002 | 23.094 | 7029 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P32 13.0 AH32 | TPL=12.42 | 0 | 21 | 23.588 | 17.145 | 23.453 | -21 | 31.408 | 2403 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P33 13.5 AH32 | TPL=13.19 | -0.001 | 21 | 23.642 | 17.228 | 32.245 | -21.001 | 32.117 | 2551 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P41 12.0 ST24 | TPL=11.54 | 0 | 17 | 11.442 | 17.011 | 23.589 | 17 | 23.221 | 5219 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P42 15.0 ST24 | TPL=14.23 | -0.011 | 23 | 17.699 | 11.151 | 23.013 | -23.011 | -23.002 | 3825 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P43 16.0 ST24 | TPL=15.34 | -0.001 | 23 | 11.704 | 11.232 | 23.018 | -23.001 | 23.002 | 2061 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P44 15.0 AH32 | TPL=13.73 | -0.01 | 32 | 23.705 | 17.274 | 32.03 | -11 | -32.01 | 2656 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P45 18.0 AH32 | TPL=14.03 | -0.086 | 32 | 23.753 | 11.298 | -32.077 | -32.086 | -32.065 | 2714 |
| HatchH3 | Plate HatchH3.P1 13.0 AH36 | TPL=11 | 0.039 | 1 | 1.076 | 1.604 | 1.525 | 1.039 | 23.248 | 5254 |
| | Plate HatchH3.P2 15.0 AH36 | TPL=11.01 | 0.147 | 11 | 11.147 | 28.948 | 4.683 | 11.147 | 22.149 | 2432 |
| | Plate HatchH3.P3 17.0 AH36 | TPL=15.3 | -0.082 | 22 | 31.894 | 11.205 | 11.548 | -11 | -22.082 | 530 |
| | Plate HatchH3.P4 15.5 AH36 | TPL=13.84 | -0.054 | 22 | 11.039 | 22.782 | 22.499 | -11 | -22.054 | 4640 |
| | Plate HatchH3.P5 14.0 AH36 | TPL=16 | 0.067 | 22 | 11.136 | 29.865 | 22.907 | 11.135 | 22.067 | 3575 |
| HatchWeb | Plate HatchWeb.P1 10.0 AH36 | TPL=10 | 0.513 | 4 | 17.889 | 28.709 | 4.765 | 4.513 | 7.666 | 7732 |
| Hopper_Fr_107-121 | Plate Hopper_Fr_107-121.P2 20.0 AH36 | TPL=19.73 | -0.001 | 23 | 22.642 | 21.324 | 23.163 | -23.001 | 23.007 | 5522 |
| Hopper_Fr_121-135 | Plate Hopper_Fr_107-121.P3 19.0 AH32 | TPL=18.52 | -0.001 | 23 | 23.525 | 23.547 | 23.134 | -23.001 | 23.024 | 6945 |
| | Plate Hopper_Fr_121-135.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.1 | 11 | 22.581 | 11.138 | 30.422 | 11.1 | 23.238 | 6995 |
| Hopper_Fr_121-135 | Plate Hopper_Fr_121-135.P3 18.0 AH32 | TPL=16.39 | -0.001 | 23 | 11.666 | 23.225 | 29.247 | -23.001 | 29.168 | 8715 |
| | Plate Hopper_Fr_135-149.P2 19.0 AH36 | TPL=19.21 | -0.001 | 23 | 22.62 | 17.28 | 23.169 | -23.001 | 23.017 | 4565 |
| Hopper_Fr_135-149 | Plate Hopper_Fr_135-149.P3 18.0 AH32 | TPL=16.87 | -0.001 | 23 | 23.539 | 23.44 | 23.063 | -23.001 | 23.002 | 5174 |
| HopperTransverse_Fr_111-147 | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 12.5 AH3 | TPL=11.59 | -0.006 | 21 | 6.49 | 21.04 | 12.609 | -21.006 | 28.541 | 5663 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 20.0 ST24 | TPL=11.02 | 0.116 | 17 | 9.514 | 23.408 | 32.379 | 17.116 | 32.129 | 678.3 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 12.0 AH3 | TPL=11.48 | 0 | 23 | 28.239 | 23.315 | 23.375 | 23 | 23.269 | 2223 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 11.0 ST24 | TPL=11 | 0.079 | 23 | 28.394 | 1.44 | 23.44 | 23.079 | 23.36 | 2412 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 20.0 ST24 | TPL=11.02 | 0.054 | 1 | 23.453 | 1.089 | 1.713 | 1.054 | 1.329 | 1827 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 17.0 ST24 | TPL=11.01 | 0.264 | 1 | 23.428 | 17.477 | 1.769 | 1.264 | 23.417 | 608.8 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 12.0 ST24 | TPL=11 | 0.002 | 1 | 11.182 | 28.464 | 28.249 | 1.002 | 27.175 | 1463 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 13.5 AH3 | TPL=13.23 | 0 | 23 | 28.409 | 23.224 | 23.191 | 23 | 23.111 | 5124 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 11.0 ST24 | TPL=11 | 0.022 | 23 | 28.404 | 23.194 | 23.397 | 23.022 | 23.256 | 4824 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 20.0 ST24 | TPL=11.02 | 0.086 | 11 | 23.417 | 11.123 | 1.675 | 11.086 | 1.257 | 4873 |
| LowerStoolWeb | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 12.5 ST24 | TPL=11.58 | 0 | 1 | 11.133 | 28.51 | 23.156 | 1 | 23.156 | 3079 |
| | Plate LowerStoolWeb.P1 12.0 AH32 | TPL=11.64 | 0.001 | 18 | 18.441 | 18.081 | 18.643 | 18.001 | 18.264 | 5192 |
| SideShell_Fr_107-149 | Plate SideShell_Fr_107-149.P1 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.243 | 29 | 18.369 | 3.374 | 29.545 | 29.243 | 31.424 | 2.22E+04 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P3 16.5 AH36 | TPL=14.5 | 0.119 | 31 | 11.183 | 11.266 | 32.472 | 31.119 | 22.161 | 1.22E+04 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P4 17.0 AH36 | TPL=14.5 | -0.005 | 22 | 11.038 | 27.837 | 32.521 | 11.023 | -22.005 | 1.22E+04 |

Tablica 24. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt

| Structure - Projekt P735a-Opt | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx | BEPPyy | BEPPxy | BEPP | ESCA | Weight |
|-------------------------------|--|-----------------|--------|----------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|
| UpperStoolH3 | Plate UpperStoolH3.P1 12.5 AH36 | TPL=12.16 | 0 | 18 | 1.174 | 18.102 | 7.497 | 18 | 12.35 | 9467 |
| | Plate UpperStoolH3.P2 13.0 AH36 | TPL=12.84 | 0 | 1 | 1.188 | 1.051 | 31.231 | -1 | 7.104 | 3828 |
| | Plate UpperStoolH3.P3 13.0 AH36 | TPL=12.18 | 0 | 1 | 1.152 | 32.15 | 4.326 | 1 | 27.112 | 2814 |
| UpperStoolWeb | Plate UpperStoolWeb.P1 10.0 ST24 | TPL=13 | 0.149 | 7 | 21.534 | 18.738 | 28.346 | 28.227 | 7.149 | 2892 |
| | Plate UpperStoolWeb.P2 12.5 AH32 | TPL=10 | 0.018 | 32 | 18.275 | 17.436 | 27.275 | 32.018 | 28.088 | 2141 |
| | Plate UpperStoolWeb.P3 12.5 AH32 | TPL=10.28 | -0.046 | 27 | 17.303 | 18.737 | 27.027 | -32 | -27.046 | 615.4 |
| WebBelowHatch | Plate WebBelowHatch.P1 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.09 | 23 | 23.109 | 22.2 | 1.914 | 23.09 | 23.416 | 2776 |
| | Plate WebBelowHatch.P2 24.0 AH36 | TPL=11.02 | -0.085 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | -1.085 | 1260 |
| | Plate WebBelowHatch.P3 19.0 AH36 | TPL=15.19 | 0.001 | 23 | 23.039 | 20.993 | 1.798 | 23.001 | 23.223 | 3649 |
| Wing_Fr_107-121 | Plate Wing_Fr_107-121.P2 17.0 AH36 | TPL=17.6 | 0 | 1 | 21.293 | 23.074 | 32.532 | 1 | 32.185 | 7215 |
| | Plate Wing_Fr_107-121.P3 17.5 AH36 | TPL=18 | -0.04 | 1 | 11.175 | 23.094 | 32.641 | -1.04 | 22.133 | 7441 |
| Wing_Fr_107-149 | Plate Wing_Fr_107-149.P1 14.5 AH32 | TPL=14 | 0.052 | 32 | 21.34 | 21.381 | 31.187 | 31.116 | 32.052 | 1.02E+04 |
| Wing_Fr_121-149 | Plate Wing_Fr_121-149.P2 17.0 AH36 | TPL=17.59 | 0 | 1 | 17.314 | 23.053 | 31.487 | -1 | 31.163 | 1.56E+04 |
| | Plate Wing_Fr_121-149.P3 17.5 AH36 | TPL=18 | -0.034 | 1 | 11.182 | 23.074 | 31.644 | -1.034 | 22.106 | 1.61E+04 |
| Wing_Fr_72-149 | Plate Wing_Fr_72-149.P5 18.0 AH36 | TPL=16.07 | 0 | 11 | 11.016 | 11.119 | 32.493 | 11 | 22.001 | 7186 |
| Wing_Fr_79-149 | Plate Wing_Fr_79-149.P4 18.0 AH36 | TPL=16.46 | 0 | 21 | 11.048 | 11.04 | 26.39 | 21 | 22.02 | 2.64E+04 |
| WingTransverse_Fr_111-147 | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 20.0 ST24 | TPL=12.47 | 0.019 | 23 | 4.555 | 22.118 | 12.357 | 23.019 | 12.292 | 1032 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 14.0 AH32 | TPL=12.94 | 0.005 | 22 | 22.491 | 22.028 | 12.243 | 22.005 | 12.293 | 6074 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 20.0 ST24 | TPL=12.95 | 0 | 32 | 30.436 | 32.244 | 22.777 | -32 | 32.197 | 767.3 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 13.0 AH32 | TPL=12.13 | -0.014 | 31 | 31.411 | 30.405 | 31.334 | -31.014 | 31.174 | 718.5 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 13.0 AH32 | TPL=12.63 | 0 | 22 | 22.238 | 22.009 | 4.456 | -22 | 5.211 | 3754 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 20.0 ST24 | TPL=14.28 | 0 | 27 | 22.455 | 27.576 | 27.273 | -27 | 27.148 | 846 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 14.0 AH32 | TPL=12.36 | 0 | 27 | 22.461 | 27.443 | 27.272 | -27 | 27.146 | 732 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 14.0 AH32 | TPL=12.99 | 0.004 | 22 | 22.22 | 22.046 | 27.356 | 22.004 | 27.211 | 3861 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 20.0 ST24 | TPL=15.01 | 0 | 27 | 22.417 | 22.505 | 27.223 | -27 | 27.113 | 3556 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 14.0 AH32 | TPL=13.48 | 0.014 | 22 | 22.113 | 22.217 | 28.291 | 22.014 | 28.164 | 8014 |

5.4. Standardizacija

Optimizacijom su dobiveni elementi nestandardnih dimenzija, također određeni elementi ne zadovoljavaju kriterije podobnosti. Iz tih razloga je potrebno provesti standardizaciju, tj. ručno zaokružiti dimenzije. Za elemente koji ne zadovoljavaju kriterije ručno su podebljavane dimenzije. Ovaj postupak ima za posljedicu povećanje ukupne mase ali i ukupne sigurnosti.

Nakon standardizacije provedena je analiza projekta pomoću programa MAESTRO-View3D [3]. Iz tablice 25., u kojoj je prikazan proračun ukupne mase, vidimo da je masa narasla na 1203.87 t. U tablicama 26 ÷ 28 prikazani su postignuti kriteriji podobnosti. Vidimo da skoro svi elementi zadovoljavaju. Na slikama 31 ÷ 40 dan je grafički prikaz najlošijih postignutih faktora podobnosti.

Iz tablica 26 ÷ 28 možemo zaključiti koji su to slučajevi opterećenja kritični za određeni dio strukture. Za limove dna to su LC 10, LC 14 i LC 18. Vidimo da su svi kriteriji zadovoljeni jedino je biaksialni kriteriji BEPP na granici. U slučaju jakih uzdužnih nosača kritični slučajevi opterećenja su LC 6, LC 9 i LC 11 a kritični kriterij je ESCA. Kod rebrenica Kritični su LC 17, LC 21, LC32 i kriterij BEPP_{xy} (smična naprezanja) i BEPP (biaksialna napr.).

Tablica 25. Proračun masa za Projekt P735a-Fin

| MASS(kg) | XCG(mm) | YCG(mm) | ZCG(mm) | Module Name |
|---------------|--|---------|----------|-------------------------------|
| 1644 | 99030.8 | 15596.9 | 9149.2 | /top/hold3_stb/wb_fr.130.5 |
| 1652 | 102707.0 | 15603.7 | 9143.3 | /top/hold3_stb/wb_fr.135.5 |
| 1660 | 106381.0 | 15610.4 | 9137.6 | /top/hold3_stb/wb_fr.140.5 |
| 1652 | 95354.8 | 15603.7 | 9143.3 | /top/hold3_stb/wb_fr.125.5 |
| 1665 | 91680.8 | 15605.9 | 9140.5 | /top/hold3_stb/wb_fr.120.5 |
| 14937 | 109282.0 | 8405.4 | 14608.9 | /top/hold3_stb/si_fr.142-147 |
| 68760 | 108390.0 | 6970.3 | 8670.3 | /top/hold3_stb/oth_fr.140-147 |
| 209886 | 99068.0 | 6259.6 | 10349.3 | /top/hold3_stb/oth_fr.121-140 |
| 83202 | 89560.8 | 7222.5 | 9696.2 | /top/hold3_stb/oth_fr.114-121 |
| 550 | 109994.0 | 928.1 | 764.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.145.5 |
| 579 | 107853.0 | 928.8 | 768.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.142.5 |
| 586 | 105648.0 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.139.5 |
| 586 | 103443.0 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.136.5 |
| 586 | 101238.0 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.133.5 |
| 586 | 99032.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.130.5 |
| 586 | 96827.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.127.5 |
| 586 | 94622.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.124.5 |
| 586 | 92417.7 | 917.8 | 773.3 | /top/hold3_stb/cgb_fr.121.5 |
| 579 | 90212.6 | 928.8 | 768.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.118.5 |
| 550 | 88071.2 | 928.1 | 764.6 | /top/hold3_stb/cgb_fr.115.5 |
| 1660 | 106381.0 | 15610.4 | -9137.6 | /top/hold3_ps/wb_fr.140.5 |
| 1652 | 102707.0 | 15603.7 | -9143.3 | /top/hold3_ps/wb_fr.135.5 |
| 1644 | 99030.8 | 15596.9 | -9149.2 | /top/hold3_ps/wb_fr.130.5 |
| 1652 | 95354.8 | 15603.7 | -9143.3 | /top/hold3_ps/wb_fr.125.5 |
| 1665 | 91680.8 | 15605.9 | -9140.5 | /top/hold3_ps/wb_fr.120.5 |
| 14937 | 109282.0 | 8405.4 | -14608.9 | /top/hold3_ps/si_fr.142-147 |
| 70367 | 108396.0 | 6930.2 | -8472.3 | /top/hold3_ps/oth_fr.140-147 |
| 211802 | 99067.7 | 6210.7 | -10255.6 | /top/hold3_ps/oth_fr.121-140 |
| 84808 | 89557.4 | 7184.5 | -9512.5 | /top/hold3_ps/oth_fr.114-121 |
| 747 | 109993.0 | 907.9 | -556.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.145.5 |
| 790 | 107852.0 | 908.2 | -557.7 | /top/hold3_ps/cgb_fr.142.5 |
| 723 | 105647.0 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.139.5 |
| 723 | 103442.0 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.136.5 |
| 723 | 101237.0 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.133.5 |
| 723 | 99032.2 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.130.5 |
| 723 | 96827.2 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.127.5 |
| 723 | 94622.2 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.124.5 |
| 723 | 92417.2 | 905.4 | -620.3 | /top/hold3_ps/cgb_fr.121.5 |
| 790 | 90211.9 | 908.2 | -557.7 | /top/hold3_ps/cgb_fr.118.5 |
| 747 | 88070.6 | 907.9 | -556.6 | /top/hold3_ps/cgb_fr.115.5 |
| 207430 | 112612.0 | 7462.0 | -13.7 | /top/hold3/fr.147-150 |
| 206703 | 85450.0 | 7455.7 | -13.7 | /top/hold3/fr.111-114 |
| 1203.87 [t] | ==>Total Module Weight(Full Ship, Exclude Tank Weight) | | | |

Tablica 26. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin

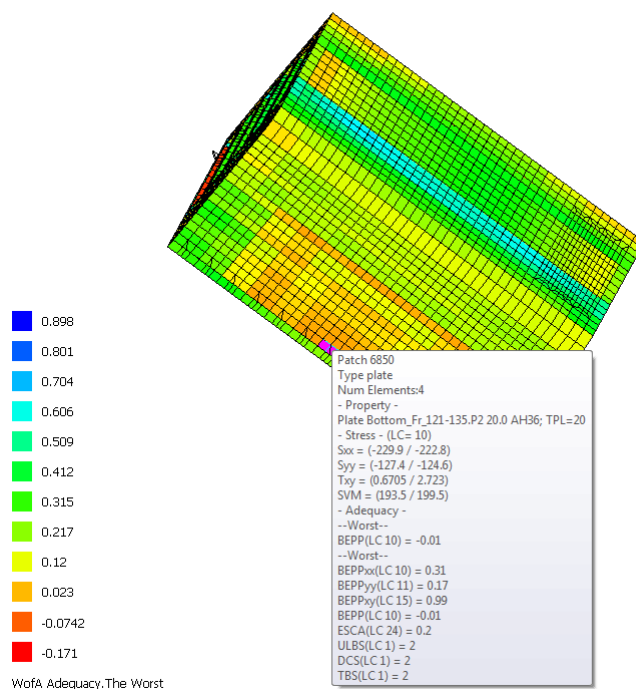
| Structure - Projekt P735a-Fin | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx/BYCF | BEPPyy/BYTF | BEPPxy/BYCP | BEPP/BYTP | ESCA/BYSX | Weight |
|-------------------------------|--|-----------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| Bilge_Fr_71-176 | Plate Bilge_Fr_71-176.P1 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.069 | 22 | 27.404 | 10.132 | 29.422 | 22.069 | 24.291 | 4.35E+04 |
| Bottom_Fr_107-121 | Plate Bottom_Fr_107-121.P1 22.0 AH36 | TPL=22 | 0.283 | 21 | 10.461 | 20.802 | 23.913 | 10.411 | 21.283 | 2934 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P2 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.005 | 10 | 10.268 | 20.195 | 19.87 | 10.005 | 31.272 | 7401 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P3 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.018 | 10 | 10.269 | 20.223 | 10.812 | 10.018 | 31.251 | 7401 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P4 17.0 AH36 | TPL=17 | 0.021 | 18 | 10.219 | 20.194 | 30.712 | 18.021 | 31.277 | 6801 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P5 15.0 AH36 | TPL=15 | 0.004 | 18 | 22.167 | 20.189 | 30.638 | 18.004 | 22.301 | 6001 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P6 13.5 AH36 | TPL=13.5 | 0.087 | 22 | 22.157 | 20.413 | 30.539 | 22.087 | 22.272 | 6301 |
| Bottom_Fr_121-135 | Plate Bottom_Fr_121-135.P1 22.0 AH36 | TPL=22 | 0.22 | 24 | 10.376 | 11.712 | 23.957 | 10.315 | 24.22 | 3859 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P2 20.0 AH36 | TPL=20 | -0.014 | 10 | 10.306 | 16.162 | 19.967 | -10.014 | 24.197 | 1.05E+04 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P3 20.0 AH36 | TPL=20 | 0.026 | 10 | 10.311 | 16.2 | 14.928 | 10.026 | 24.228 | 1.05E+04 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P4 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.034 | 10 | 10.287 | 16.199 | 18.908 | 10.034 | 24.261 | 9998 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P5 16.0 AH36 | TPL=16 | 0.009 | 10 | 10.175 | 16.209 | 10.898 | 10.009 | 32.274 | 8419 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P6 13.5 AH36 | TPL=13.5 | 0.133 | 10 | 10.137 | 20.439 | 30.631 | 10.133 | 24.262 | 8288 |
| Bottom_Fr_135-149 | Plate Bottom_Fr_135-149.P1 22.0 AH36 | TPL=22 | 0.292 | 32 | 10.459 | 16.796 | 23.913 | 10.409 | 32.292 | 2492 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P2 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.003 | 14 | 10.269 | 16.189 | 15.872 | 14.003 | 32.27 | 6286 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P3 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.019 | 10 | 10.269 | 16.217 | 10.814 | 10.019 | 32.245 | 6286 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P4 17.0 AH36 | TPL=17 | 0.018 | 14 | 10.218 | 16.186 | 29.693 | 14.018 | 32.268 | 5776 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P5 15.0 AH36 | TPL=15 | 0.004 | 14 | 22.151 | 16.184 | 29.614 | 14.004 | 22.293 | 5097 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P6 13.5 AH36 | TPL=13.5 | 0.102 | 22 | 22.148 | 16.43 | 29.539 | 22.102 | 22.28 | 5352 |
| BottomGirder_Fr_107-121 | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 20.0 AH32 | TPL=20 | 0.008 | 6 | 22.643 | 6.935 | 23.219 | 9.186 | 6.008 | 2834 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 19.0 AH32 | TPL=19 | 0.007 | 6 | 10.632 | 20.91 | 23.208 | 23.202 | 6.007 | 5242 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 16.0 AH32 | TPL=16 | 0.011 | 6 | 10.576 | 21.679 | 23.219 | 23.203 | 6.011 | 4337 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 12.0 AH32 | TPL=12 | 0.015 | 11 | 22.257 | 11.104 | 23.124 | 11.015 | 23.051 | 2938 |
| BottomGirder_Fr_121-135 | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.012 | 24 | 22.188 | 23.854 | 23.243 | 10.068 | 24.012 | 2330 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 12.0 AH32 | TPL=12 | -0.022 | 9 | 10.232 | 23.574 | 23.181 | 23.121 | -9.022 | 3843 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 11.0 AH32 | TPL=11 | 0.059 | 23 | 10.176 | 23.36 | 23.265 | 10.134 | 23.059 | 3522 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.017 | 11 | 10.337 | 11.098 | 23.672 | 11.017 | 24.23 | 4163 |
| BottomGirder_Fr_135-149 | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 20.0 AH32 | TPL=20 | 0.004 | 6 | 22.63 | 31.92 | 23.207 | 6.175 | 6.004 | 2407 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 19.0 AH32 | TPL=19 | 0.005 | 9 | 10.634 | 16.89 | 23.202 | 23.197 | 9.005 | 4430 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 16.0 AH32 | TPL=16 | 0.009 | 9 | 22.578 | 17.702 | 23.213 | 23.197 | 9.009 | 3608 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 12.0 AH32 | TPL=12 | 0.008 | 11 | 22.243 | 11.098 | 23.12 | 11.008 | 23.048 | 2621 |
| Deck_Fr_106-152 | Plate Deck_Fr_106-152.P5 20.0 ST24 | TPL=20 | -0.062 | 4 | 11.41 | 11.402 | 4.044 | -4.062 | -4.031 | 8638 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P6 15.0 ST24 | TPL=15 | 0.027 | 1 | 23.11 | 5.473 | 25.425 | 1.027 | 23.209 | 1.04E+04 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P7 14.0 ST24 | TPL=14 | 0.008 | 1 | 1.032 | 1.18 | 26.512 | 1.008 | 1.175 | 9720 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P8 14.0 ST24 | TPL=14 | 0.046 | 1 | 1.099 | 1.097 | 25.797 | 1.046 | 1.239 | 3240 |
| Deck_Fr_107-149 | Plate Deck_Fr_107-149.P1 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.007 | 22 | 11.243 | 23.56 | 29.774 | 22.098 | 22.007 | 2.15E+04 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P2 18.5 AH36 | TPL=18.5 | 0.01 | 22 | 11.203 | 23.218 | 28.722 | 22.01 | 22.029 | 2.35E+04 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P3 19.0 AH36 | TPL=19 | -0.113 | 22 | 11.053 | -11.063 | 4.415 | -22.113 | -22.073 | 2.36E+04 |
| DeckGirderWeb | Plate DeckGirderWeb.P1 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.192 | 18 | 18.36 | 18.306 | 14.61 | 18.192 | 4.269 | 1.87E+04 |

Tablica 27. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin

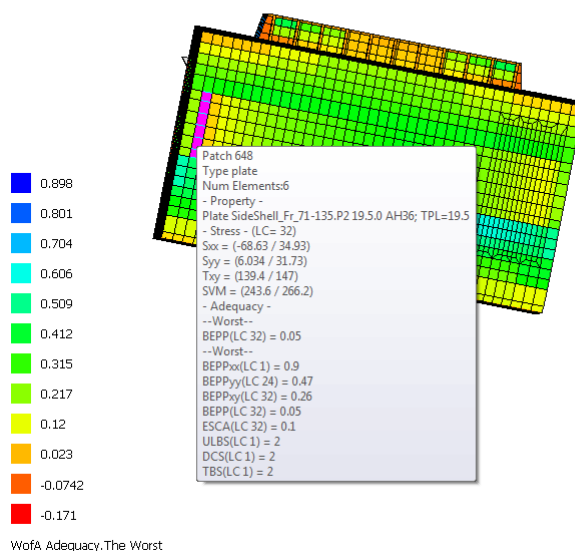
| Structure - Projekt P735a-Fin | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx/BYCF | BEPPyy/BYTF | BEPPxy/BYCP | BEPP/BYTP | ESCA/BYSX | Weight |
|-------------------------------|--|-----------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| Floor_Fr_111-147 | Plate Floor_Fr_111-147.P1 13.0 AH36 | TPL=13 | -0.008 | 21 | 5.447 | 17.073 | 31.245 | -21.008 | 31.219 | 7217 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P21 12.0 AH36 | TPL=12 | 0.021 | 17 | 17.513 | 17.085 | 31.428 | 17.021 | 31.186 | 4175 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P22 11.5 AH36 | TPL=11.5 | 0.034 | 17 | 21.649 | 17.126 | 6.511 | 17.034 | 9.393 | 1733 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P31 12.5 ST24 | TPL=12.5 | 0.022 | 21 | 23.577 | 21.052 | 23.185 | 21.022 | 23.102 | 7128 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P32 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.01 | 21 | 23.602 | 17.155 | 23.474 | 21.01 | 31.412 | 2418 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P33 13.5 AH32 | TPL=13.5 | 0.037 | 21 | 23.663 | 17.249 | 32.314 | 21.037 | 32.155 | 2611 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P41 11.5 ST24 | TPL=11.5 | 0.028 | 11 | 11.437 | 17.044 | 23.6 | 11.028 | 23.225 | 5200 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P42 14.5 ST24 | TPL=14.5 | 0.008 | 23 | 21.693 | 11.172 | 23.038 | 23.008 | 23.009 | 3897 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P43 15.5 ST24 | TPL=15.5 | 0.01 | 23 | 11.7 | 11.253 | 23.038 | 23.014 | 23.01 | 2083 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P44 14.0 AH32 | TPL=14 | 0.031 | 32 | 23.721 | 17.297 | 32.109 | 11.04 | 32.031 | 2708 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P45 17.0 AH32 | TPL=17 | 0.02 | 32 | 11.856 | 17.49 | 32.092 | 32.084 | 32.02 | 3288 |
| HatchH3 | Plate HatchH3.P1 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.253 | 1 | 1.262 | 11.743 | 1.708 | 1.253 | 23.335 | 6208 |
| | Plate HatchH3.P2 15.0 AH36 | TPL=15 | 0.136 | 22 | 11.45 | 25.997 | 4.861 | 22.349 | 22.136 | 3313 |
| | Plate HatchH3.P3 17.0 AH36 | TPL=17 | -0.055 | 22 | 24.903 | 11.331 | 11.603 | 11.114 | -22.055 | 589.1 |
| | Plate HatchH3.P4 15.5 AH36 | TPL=15.5 | -0.026 | 22 | 11.204 | 22.735 | 22.549 | 22.052 | -22.026 | 5195 |
| | Plate HatchH3.P5 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.021 | 11 | 11.023 | 22.709 | 22.837 | 11.021 | 22.051 | 3128 |
| HatchWeb | Plate HatchWeb.P1 10.0 AH36 | TPL=10 | -0.039 | 23 | 22.615 | 23.078 | 22.567 | -23.039 | 22.315 | 9753 |
| Hopper_Fr_107-121 | Plate Hopper_Fr_107-121.P2 20.0 AH36 | TPL=20 | 0.023 | 23 | 22.659 | 21.361 | 23.186 | 23.035 | 23.023 | 5598 |
| Hopper_Fr_121-135 | Plate Hopper_Fr_107-121.P3 18.5 AH32 | TPL=18.5 | 0.012 | 23 | 23.537 | 23.55 | 23.14 | 23.012 | 23.034 | 6937 |
| | Plate Hopper_Fr_121-135.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.112 | 11 | 22.587 | 11.15 | 30.429 | 11.112 | 23.243 | 6995 |
| Hopper_Fr_135-149 | Plate Hopper_Fr_121-135.P3 16.5 AH32 | TPL=16.5 | 0.025 | 23 | 11.714 | 23.238 | 29.261 | 23.025 | 29.173 | 8774 |
| | Plate Hopper_Fr_135-149.P2 19.5 AH36 | TPL=19.5 | 0.03 | 23 | 22.639 | 17.316 | 23.196 | 23.03 | 23.032 | 4635 |
| HopperTransverse_Fr_111-147 | Plate Hopper_Fr_135-149.P3 17.0 AH32 | TPL=17 | 0.011 | 23 | 23.552 | 23.437 | 23.09 | 23.011 | 23.015 | 5215 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 11.5 AH3 | TPL=11.5 | 0.012 | 17 | 9.488 | 17.05 | 6.528 | 17.012 | 28.543 | 5617 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 20.0 ST2 | TPL=20 | 0.316 | 32 | 4.935 | 23.911 | 32.841 | 32.821 | 32.316 | 1231 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 11.5 AH3 | TPL=11.5 | 0.005 | 23 | 28.255 | 23.326 | 23.365 | 23.005 | 23.263 | 2226 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 11.0 ST2 | TPL=11 | 0.042 | 23 | 28.377 | 1.459 | 23.406 | 23.042 | 23.328 | 2412 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 20.0 ST | TPL=20 | 0.546 | 23 | 23.95 | 1.801 | 1.961 | 1.796 | 23.546 | 3317 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 11.0 ST | TPL=11 | 0.27 | 1 | 23.435 | 17.469 | 1.773 | 1.27 | 23.417 | 608.1 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 12.0 ST2 | TPL=12 | 0.096 | 1 | 11.235 | 28.565 | 23.377 | 1.096 | 27.224 | 1596 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 13.5 AH3 | TPL=13.5 | 0.025 | 23 | 28.459 | 23.255 | 23.207 | 23.025 | 23.118 | 5227 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 11.0 ST2 | TPL=11 | 0.026 | 23 | 28.388 | 23.21 | 23.361 | 23.026 | 23.255 | 4824 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 20.0 ST2 | TPL=20 | 0.47 | 23 | 23.948 | 11.82 | 23.963 | 11.817 | 23.47 | 8845 |
| LowerStoolWeb | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 12.0 ST2 | TPL=12 | 0.029 | 1 | 11.135 | 28.561 | 23.194 | 1.029 | 23.157 | 3191 |
| | Plate LowerStoolWeb.P1 12.0 AH32 | TPL=12 | 0.029 | 18 | 18.463 | 18.104 | 18.686 | 18.029 | 18.272 | 5352 |
| SideShell_Fr_107-149 | Plate SideShell_Fr_107-149.P1 14.0 AH36 | TPL=14 | 0.249 | 29 | 18.377 | 3.392 | 29.545 | 29.249 | 31.43 | 2.22E+04 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P3 16.0 AH36 | TPL=16 | 0.187 | 22 | 11.291 | 11.373 | 32.572 | 24.267 | 22.187 | 1.35E+04 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P4 16.5 AH36 | TPL=16.5 | 0.031 | 22 | 11.167 | 27.881 | 32.696 | 22.144 | 22.031 | 1.39E+04 |

Tablica 28. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin

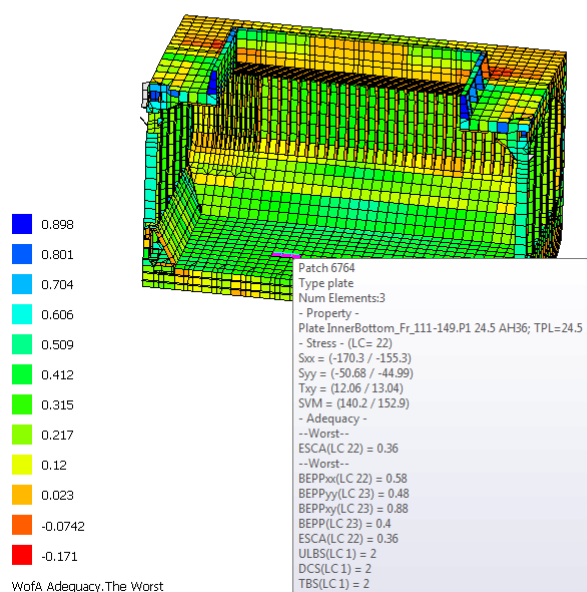
| Structure - Projekt P735a-Fin | Property | Value (min/max) | g min | LC(gmin) | BEPPxx/BYCF | BEPPyy/BYTF | BEPPxy/BYCP | BEPP/BYTP | ESCA/BYSX | Weight |
|-------------------------------|--|-----------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| UpperStoolH3 | Plate UpperStoolH3.P1 12.5 AH36 | TPL=12.5 | 0.04 | 18 | 1.217 | 18.139 | 7.534 | 18.04 | 12.362 | 9731 |
| | Plate UpperStoolH3.P2 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.03 | 32 | 1.225 | 1.11 | 31.247 | 32.03 | 7.104 | 3874 |
| | Plate UpperStoolH3.P3 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.113 | 1 | 1.24 | 32.271 | 4.454 | 1.113 | 27.154 | 3004 |
| UpperStoolWeb | Plate UpperStoolWeb.P1 10.0 ST24 | TPL=10 | -0.028 | 28 | 21.34 | 18.522 | 28.141 | -28.028 | 7.097 | 2225 |
| | Plate UpperStoolWeb.P2 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.192 | 28 | 18.487 | 21.603 | 27.469 | 32.291 | 28.192 | 2675 |
| | Plate UpperStoolWeb.P3 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.043 | 4 | 17.515 | 18.847 | 27.213 | 27.202 | 4.043 | 748 |
| WebBelowHatch | Plate WebBelowHatch.P1 13.0 AH36 | TPL=13 | 0.074 | 23 | 23.096 | 22.174 | 1.902 | 23.074 | 23.401 | 2776 |
| | Plate WebBelowHatch.P2 19.0 AH36 | TPL=19 | 0.106 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1.106 | 2172 |
| | Plate WebBelowHatch.P3 16.0 AH36 | TPL=16 | -0.006 | 23 | 23.031 | 20.989 | 1.81 | -23.006 | 23.186 | 3843 |
| Wing_Fr_107-121 | Plate Wing_Fr_107-121.P2 17.0 AH36 | TPL=17 | 0.07 | 1 | 21.274 | 23.164 | 32.5 | 1.07 | 32.194 | 6971 |
| | Plate Wing_Fr_107-121.P3 17.5 AH36 | TPL=17.5 | 0.05 | 1 | 11.166 | 23.186 | 32.567 | 1.05 | 22.148 | 7235 |
| Wing_Fr_107-149 | Plate Wing_Fr_107-149.P1 14.0 AH32 | TPL=14 | 0.081 | 32 | 21.349 | 21.394 | 31.218 | 31.147 | 32.081 | 1.02E+04 |
| Wing_Fr_121-149 | Plate Wing_Fr_121-149.P2 17.0 AH36 | TPL=17 | 0.043 | 23 | 17.286 | 23.133 | 31.475 | 23.043 | 31.157 | 1.51E+04 |
| | Plate Wing_Fr_121-149.P3 17.0 AH36 | TPL=17 | 0.009 | 1 | 11.142 | 23.121 | 31.506 | 1.009 | 22.116 | 1.52E+04 |
| Wing_Fr_72-149 | Plate Wing_Fr_72-149.P5 16.5 AH36 | TPL=16.5 | 0.007 | 22 | 11.038 | 11.143 | 32.543 | 11.013 | 22.007 | 7376 |
| Wing_Fr_79-149 | Plate Wing_Fr_79-149.P4 17.5 AH36 | TPL=17.5 | 0.04 | 22 | 11.109 | 11.103 | 27.398 | 21.066 | 22.04 | 2.81E+04 |
| WingTransverse_Fr_111-147 | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.453 | 1 | 1.958 | 22.803 | 12.879 | 22.758 | 1.453 | 1656 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.002 | 22 | 22.489 | 22.027 | 12.256 | 22.002 | 12.299 | 6104 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.344 | 32 | 30.853 | 32.776 | 7.9 | 32.524 | 32.344 | 1185 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.018 | 31 | 31.427 | 29.53 | 31.374 | 31.018 | 31.187 | 740.4 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.021 | 22 | 1.263 | 22.026 | 5.489 | 22.021 | 5.225 | 3865 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.302 | 27 | 22.912 | 22.879 | 27.607 | 27.556 | 27.302 | 1185 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 12.5 AH32 | TPL=12.5 | 0.031 | 27 | 22.474 | 22.467 | 27.309 | 27.031 | 27.165 | 740.4 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 13.0 AH32 | TPL=13 | 0.008 | 22 | 22.223 | 22.044 | 27.377 | 22.008 | 27.227 | 3865 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 20.0 ST24 | TPL=20 | 0.245 | 27 | 22.746 | 22.849 | 27.514 | 27.466 | 27.245 | 4738 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 13.5 AH32 | TPL=13.5 | 0.028 | 22 | 22.124 | 22.235 | 28.299 | 22.028 | 28.171 | 8028 |



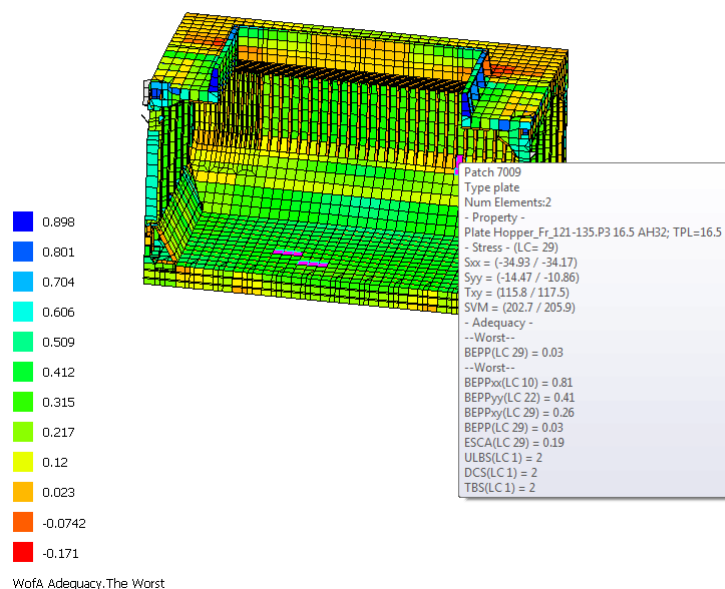
Slika 31. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a-Fin



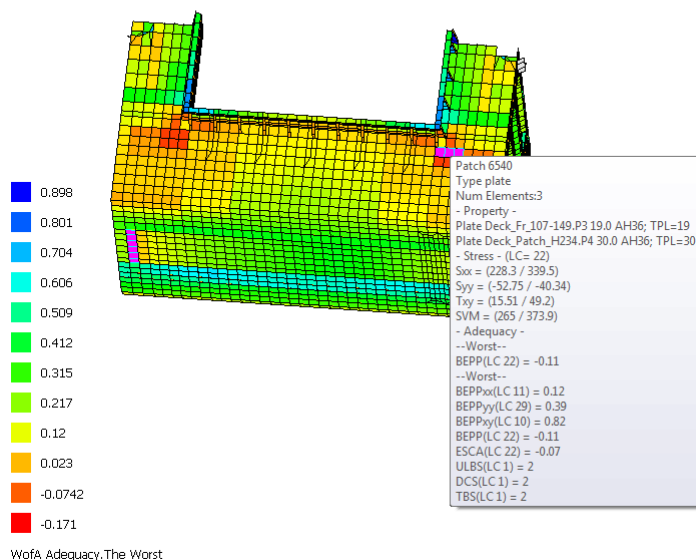
Slika 32. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a-Fin



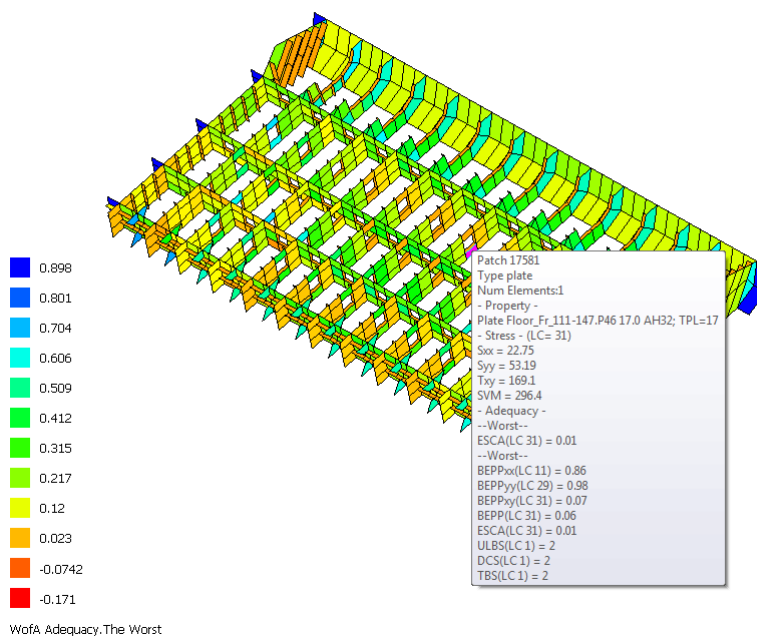
Slika 33. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata pokrova dvodna za Projekt P735a-Fin



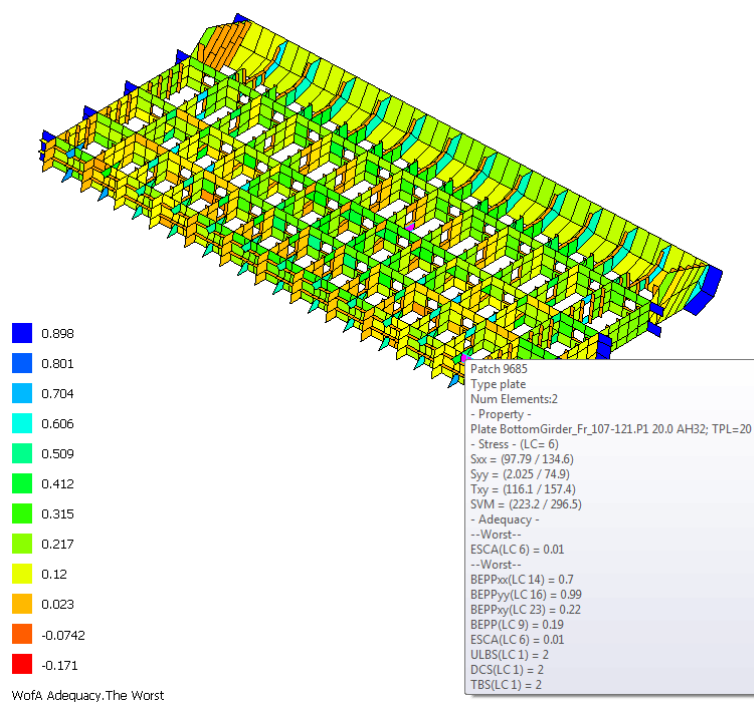
Slika 34. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata uzvojnog tanka za Projekt P735a-Fin



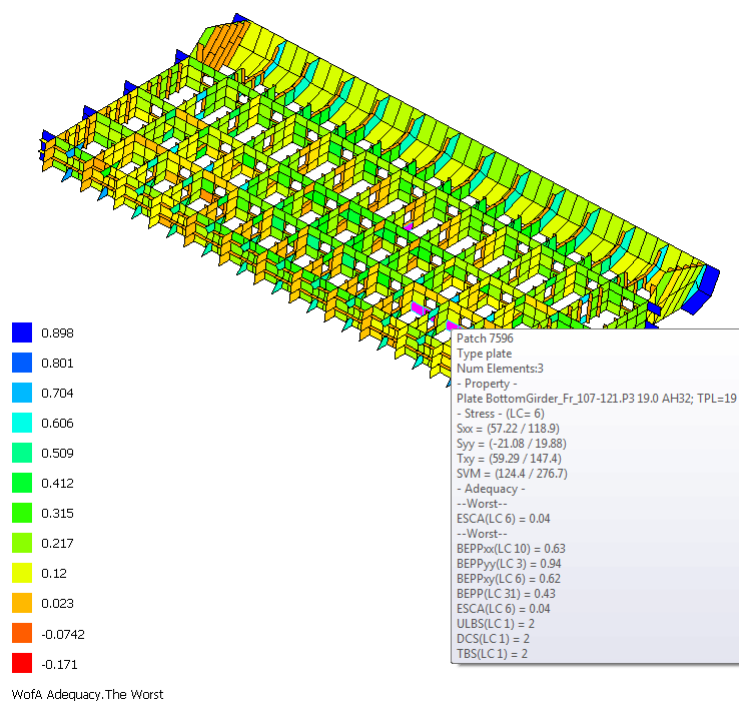
Slika 35. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a-Fin



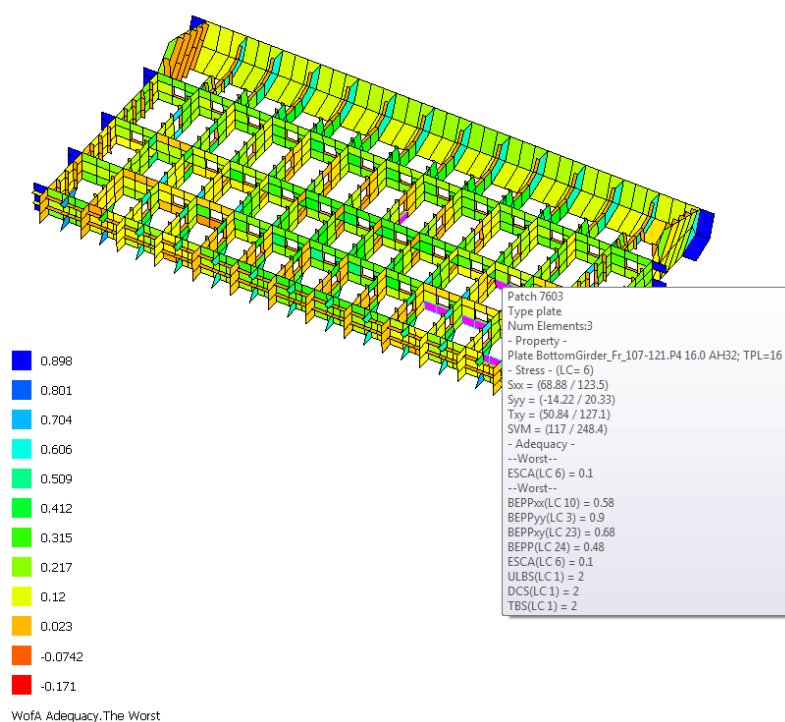
Slika 36. Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a-Fin



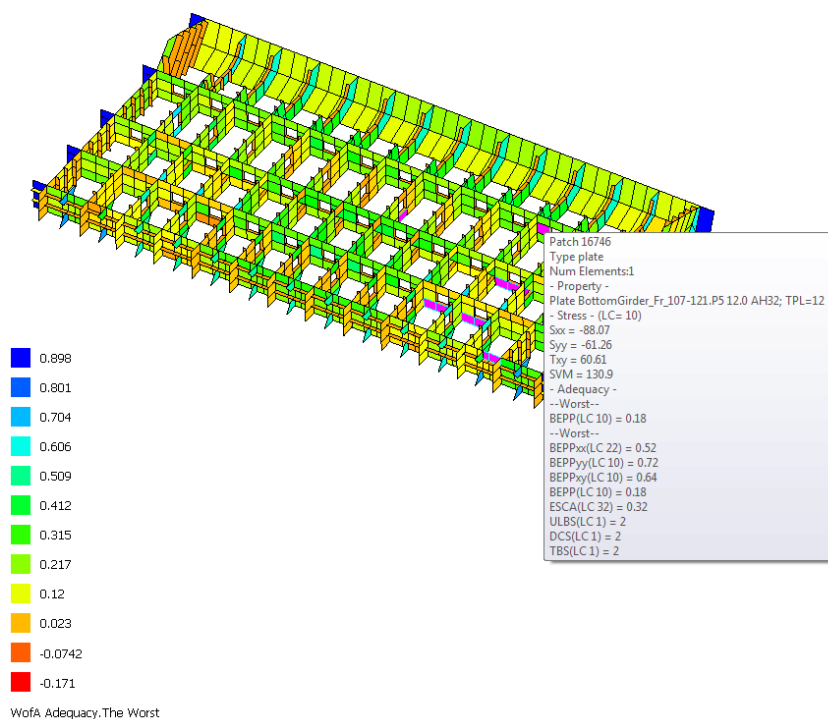
Slika 37. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a-Fin



Slika 38. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a-Fin



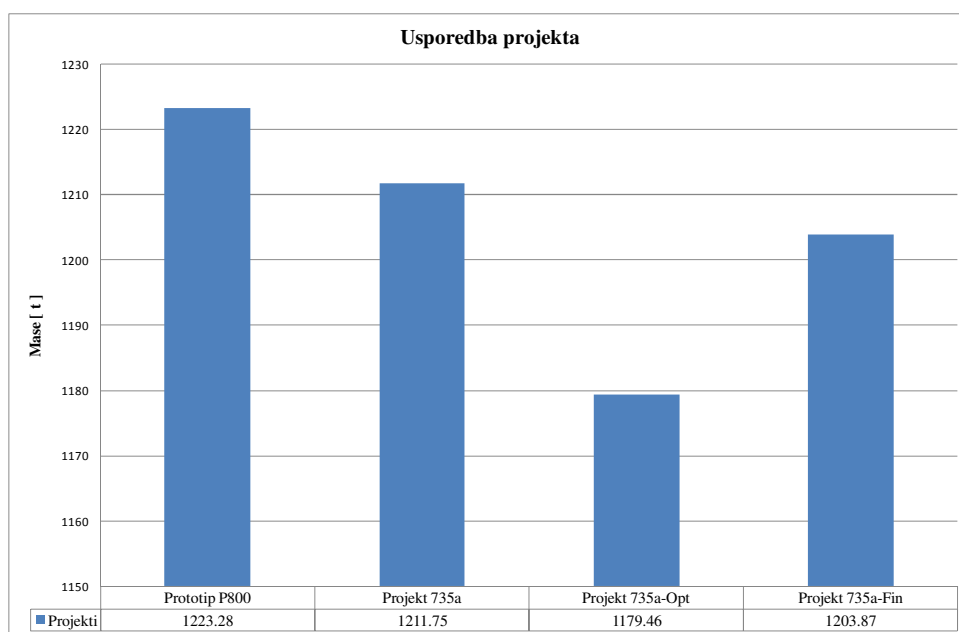
Slika 39. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a-Fin



Slika 40. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a-Fin

6. USPOREDBA PROTOTIPA I PROJEKTA 735a-Fin

U ovom poglavlju prikazana je usporedba ukupnih masa Prototipa P800 i Projekta 735a-Fin. Valja napomenuti da je prototipni model P800, koji je bio dostupan na FSB-u, prethodno detaljno optimiran model (kroz obje faze projektiranja konstrukcije).



Slika 41. Usporedba masa projekata

Iz dijagrama na slici 41. vidimo da Prototip P800 ima najveću masu. Izbacivanje uzdužnih nosača, smanjivanje razmaka rebara a samim time i dimenzija određenih strukturnih elemenata, dovelo je do smanjenja mase kod Projekta 735a (manja za 10 t). Ta masa je dodatno smanjena tijekom optimizacije, za dodatnih 30 t. No zbog standardizacije i usklađivanja strukturnih dimenzija masa je u finalnoj verziji projekta (Projekt 735a-Fin) narasla za oko 25 t. Usprkos tome masa Projekta 735a-Fin je oko 20 t manja od mase Prototipa P800.

U tablicama 29. i 30. dana je usporedba dimenzija strukturnih elemenata Prototipa P800 i Projekta 735a-Fin. Iz tablica je vidljivo da su dimenzije poprečnih strukturnih elemenata uglavnom smanjene, dok su nekim uzdužnim elementima narasle. Povećanje dimenzija je najočitije u slučaju jakih uzdužnih nosača dvodna.

Tablica 29. Usporedba strukturnih dimenzija

| Structure | Property | Prototip P800 | Projekt P735a-Fin |
|-------------------------|----------------------------------|---------------|-------------------|
| | | Value | Value |
| Bilge_Fr_71-176 | Plate Bilge_Fr_71-176.P1 | 14.0 AH36 | 14.0 AH36 |
| Bottom | Bar Bottom.S1 | HP260x10 AH32 | HP240x10 AH32 |
| | Bar Bottom.S2 | HP240x11 AH32 | HP240x10 AH32 |
| Bottom_Fr_107-121 | Plate Bottom_Fr_107-121.P1 | 22.0 AH36 | 22.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P2 | 19.0 AH36 | 18.5 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P3 | 18.5 AH36 | 18.5 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P4 | 17.5 AH36 | 17.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P5 | 15.0 AH36 | 15.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_107-121.P6 | 14.0 AH36 | 13.5 AH36 |
| Bottom_Fr_121-135 | Plate Bottom_Fr_121-135.P1 | 22.0 AH36 | 22.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P2 | 20.0 AH36 | 20.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P3 | 19.5 AH36 | 20.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P4 | 18.5 AH36 | 19.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P5 | 16.0 AH36 | 16.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_121-135.P6 | 14.0 AH36 | 13.5 AH36 |
| Bottom_Fr_135-149 | Plate Bottom_Fr_135-149.P1 | 22.0 AH36 | 22.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P2 | 19.0 AH36 | 18.5 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P3 | 18.5 AH36 | 18.5 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P4 | 17.5 AH36 | 17.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P5 | 15.0 AH36 | 15.0 AH36 |
| | Plate Bottom_Fr_135-149.P6 | 14.0 AH36 | 13.5 AH36 |
| BottomGirder | Bar BottomGirder.S1 | HP240x10 AH32 | HP240x10 AH32 |
| | Bar BottomGirder.S2 | FB150x12 AH32 | FB150x12 AH32 |
| BottomGirder_Fr_107-121 | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 | 15.0 AH32 | 20.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 | 13.0 AH32 | 19.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 | 12.0 AH32 | 16.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 | 12.5 AH32 | 12.0 AH32 |
| BottomGirder_Fr_121-135 | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 | 13.0 AH32 | 12.5 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 | 11.0 AH32 | 11.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 | 11.0 AH32 | 11.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 | 13.0 AH32 | 13.0 AH32 |
| BottomGirder_Fr_135-149 | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 | 15.0 AH32 | 20.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 | 13.0 AH32 | 19.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 | 11.5 AH32 | 16.0 AH32 |
| | Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 | 12.5 AH32 | 12.0 AH32 |
| Bulkhead_111 | Plate Bulkhead_111.P1 | 20.0 AH36 | 20.0 AH36 |
| Bulkhead_147 | Plate Bulkhead_147.P1 | 20.0 AH36 | 20.0 AH36 |
| Deck | Bar Deck.S1 | HP320x12 AH36 | HP320x13 AH36 |
| | Bar Deck.S6 | HP200x10 ST24 | HP200x10 ST24 |
| Deck_Fr_106-152 | Plate Deck_Fr_106-152.P5 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P6 | 17.5 ST24 | 15.0 ST24 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P7 | 16.5 ST24 | 14.0 ST24 |
| | Plate Deck_Fr_106-152.P8 | 15.0 ST24 | 14.0 ST24 |

Tablica 30. Usporedba strukturnih dimenzija

| Structure | Property | Prototip P800 | Projekt P735a-Fin |
|-----------------------------|--|---------------|-------------------|
| | | Value | Value |
| Deck_Fr_107-149 | Plate Deck_Fr_107-149.P1 | 18.5 AH36 | 18.5 AH36 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P2 | 18.5 AH36 | 18.5 AH36 |
| | Plate Deck_Fr_107-149.P3 | 19.0 AH36 | 19.0 AH36 |
| Floor_Fr_111-147 | Plate Floor_Fr_111-147.P1 | 13.5 AH36 | 13.0 AH36 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P21 | 13.5 ST24 | 12.0 ST24 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P22 | 12.0 AH32 | 11.5 AH32 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P31 | 12.0 ST24 | 12.0 ST24 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P32 | 13.0 AH32 | 12.5 AH32 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P33 | 13.5 AH32 | 13.5 AH32 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P41 | 12.0 ST24 | 11.5 ST24 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P42 | 15.0 ST24 | 14.5 ST24 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P43 | 16.0 ST24 | 15.5 ST24 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P44 | 15.0 AH32 | 14.0 AH32 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P45 | 18.0 AH32 | 17.0 AH32 |
| | Plate Floor_Fr_111-147.P46 | 18.0 AH32 | 17.0 AH32 |
| HatchH3 | Plate HatchH3.P1 | 13.0 AH36 | 13.0 AH36 |
| | Plate HatchH3.P2 | 15.0 AH36 | 15.0 AH36 |
| | Plate HatchH3.P3 | 17.0 AH36 | 17.0 AH36 |
| | Plate HatchH3.P4 | 15.5 AH36 | 15.5 AH36 |
| | Plate HatchH3.P5 | 14.0 AH36 | 14.0 AH36 |
| Hopper | Bar Hopper.S1 | HP300x12 AH36 | HP280x12 AH36 |
| | Bar Hopper.S2 | HP240x11 AH32 | HP240x10 AH32 |
| Hopper_Fr_107-121 | Plate Hopper_Fr_107-121.P2 | 20.0 AH36 | 20.0 AH36 |
| | Plate Hopper_Fr_107-121.P3 | 19.0 AH32 | 18.5 AH32 |
| Hopper_Fr_111-147 | Plate Hopper_Fr_111-147.P1 | 24.5 AH36 | 24.0 AH36 |
| Hopper_Fr_121-135 | Plate Hopper_Fr_121-135.P2 | 19.0 AH36 | 19.0 AH36 |
| | Plate Hopper_Fr_121-135.P3 | 18.0 AH32 | 16.5 AH32 |
| Hopper_Fr_135-149 | Plate Hopper_Fr_135-149.P2 | 19.0 AH36 | 19.5 AH36 |
| | Plate Hopper_Fr_135-149.P3 | 18.0 AH32 | 17.0 AH32 |
| HopperTransverse_Fr_111-147 | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 | 12.5 AH36 | 11.5 AH36 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 | 12.0 AH32 | 11.5 AH32 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 | 11.0 ST24 | 11.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 | 17.0 ST24 | 11.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 | 12.0 ST24 | 12.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 | 13.5 AH32 | 13.5 AH32 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 | 11.0 ST24 | 11.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 | 12.5 ST24 | 12.0 ST24 |
| InnerBottom | Bar InnerBottom.S1 | HP300x12 AH36 | HP280x12 AH36 |
| InnerBottom_Fr_111-147 | Plate InnerBottom_Fr_111-147.P1 | 25.0 AH36 | 24.5 AH36 |
| SideFrameFlange | Bar SideFrameFlange.S1 | FB200x15 ST24 | FB200x15 ST24 |
| | Bar SideFrameFlange.S3 | FB100x25 ST24 | FB100x25 ST24 |

Tablica 31. Usporedba strukturnih dimenzija

| Structure | Property | Prototip P800 | Projekt P735a-Fin |
|-----------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| | | Value | Value |
| SideFrameLowerBracketFlange | Bar SideFrameLowerBracketFlange.S3 | FB100x25 ST24 | FB100x25 ST24 |
| | Bar SideFrameLowerBracketFlange.S7 | FB200x20 ST24 | FB200x20 ST24 |
| SideFrameLowerBracketWeb | Plate SideFrameLowerBracketWeb.P4 | 20.0 ST24 | 18.5 ST24 |
| SideFrameUpperBracketFlange | Bar SideFrameUpperBracketFlange.S3 | FB100x25 ST24 | FB100x25 ST24 |
| | Bar SideFrameUpperBracketFlange.S7 | FB200x15 ST24 | FB200x15 ST24 |
| SideFrameUpperBracketWeb | Plate SideFrameUpperBracketWeb.P1 | 14.0 ST24 | 14.0 ST24 |
| SideFrameWeb | Plate SideFrameWeb.P2 | 14.0 ST24 | 14.0 ST24 |
| SideShell | Bar SideShell.S1 | HP240x10 AH32 | HP220x10 AH32 |
| | Bar SideShell.S2 | HP300x11 AH36 | HP300x11 AH36 |
| SideShell_Fr_107-149 | Plate SideShell_Fr_107-149.P1 | 14.0 AH36 | 14.0 AH36 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P3 | 16.5 AH36 | 16.0 AH36 |
| | Plate SideShell_Fr_107-149.P4 | 17.0 AH36 | 16.5 AH36 |
| SideShell_Fr_135-191 | Plate SideShell_Fr_135-191.P2 | 20.5 AH36 | 19.5 AH36 |
| SideShell_Fr_71-135 | Plate SideShell_Fr_71-135.P2 | 20.0 AH36 | 19.5 AH36 |
| UpperStoolH3 | Plate UpperStoolH3.P1 | 12.5 AH36 | 12.5 AH36 |
| | Plate UpperStoolH3.P2 | 13.0 AH36 | 13.0 AH36 |
| | Plate UpperStoolH3.P3 | | 13.0 AH36 |
| UpperStoolWeb | Plate UpperStoolWeb.P1 | 10.0 ST24 | 10.0 ST24 |
| | Plate UpperStoolWeb.P2 | 12.5 AH32 | 12.5 AH32 |
| | Plate UpperStoolWeb.P3 | 12.5 AH32 | 12.5 AH32 |
| WebBelowHatch | Plate WebBelowHatch.P1 | 13.0 AH36 | 13.0 AH36 |
| | Plate WebBelowHatch.P2 | 24.0 AH36 | 19.0 AH36 |
| | Plate WebBelowHatch.P3 | 19.0 AH36 | 16.0 AH36 |
| Wing | Bar Wing.S1 | HP300x11 AH36 | HP320x12 AH36 |
| | Bar Wing.S2 | FB150x12 AH32 | FB150x12 AH32 |
| Wing_Fr_107-121 | Plate Wing_Fr_107-121.P2 | 17.0 AH36 | 17.0 AH36 |
| | Plate Wing_Fr_107-121.P3 | 17.5 AH36 | 17.5 AH36 |
| Wing_Fr_107-149 | Plate Wing_Fr_107-149.P1 | 14.5 AH32 | 14.0 AH32 |
| Wing_Fr_121-149 | Plate Wing_Fr_121-149.P2 | 17.0 AH36 | 17.0 AH36 |
| | Plate Wing_Fr_121-149.P3 | 17.5 AH36 | 17.0 AH36 |
| Wing_Fr_72-149 | Plate Wing_Fr_72-149.P5 | 18.0 AH36 | 16.5 AH36 |
| Wing_Fr_79-149 | Plate Wing_Fr_79-149.P4 | 18.0 AH36 | 17.5 AH36 |
| WingTransverse_Fr_111-147 | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 | 14.0 AH32 | 13.0 AH32 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 | 13.0 AH32 | 12.5 AH32 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 | 13.0 AH32 | 13.0 AH32 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 | 14.0 AH32 | 12.5 AH32 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 | 14.0 AH32 | 13.0 AH32 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 | 20.0 ST24 | 20.0 ST24 |
| | Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 | 14.0 AH32 | 13.5 AH32 |

ZAKLJUČAK

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret danas se provodi prema Usuglašenim zajedničkim pravilima IACS CSR(BC). Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provest i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina projektiranja brodskih konstrukcija. Cilj ovog rada je upravo demonstracija takvog pristupa projektiranju brodske konstrukcije na primjeru broda za rasuti teret od oko 40 000 DWT-a.

Proračun je proveden kroz dvije faze. Kroz fazu 1 evaluirane su strukturne dimenzije prototipa P800, te su generirane tri varijante konstrukcije s izbačenim jednim jakim uzdužnim nosačem u dvodnu razmakom rebara 885 mm i 735 mm. Tim trima varijantama reprojektirane su dimenzije strukturnih elemenata te je provedena analiza prema preskriptivnim Pravilima korištenjem programa MARS. Evaluacijom odabrana je najbolja varijanta po kriteriju minimalne mase. Za odabranu varijantu u drugoj fazi proveden je, direktni proračun korištenjem metode konačnih elemenata, te strukturna optimizacija.

Izbacivanje uzdužnih nosača, smanjivanje razmaka rebara a samim time i dimenzija određenih strukturnih elemenata, dovelo je do smanjenja mase kod Projekta 735a. Ta masa je dodatno smanjena tijekom optimizacije. No zbog standardizacije i usklađivanja strukturnih dimenzija masa se u finalnoj verziji povećala. Usprkos tome masa Projekta 735a-Fin je manja od mase Prototipa P800 za oko 20 tona. Valja napomenuti da je prototipni model P800, koji je bio dostupan na FSB-u, prethodno detaljno optimiran (kroz obje faze projektiranja konstrukcije). Iz tablica je vidljivo da su dimenzije poprečnih strukturnih elemenata uglavnom smanjene, dok su nekim uzdužnim elementima narasle. Povećanje dimenzija je najočitije u slučaju jakih uzdužnih nosača dvodna.

LITERATURA

- [1] IACS: Common Structural Rules for Bulk Carriers, July 2012.
- [2] *The Society of Naval Architects and Marine Engineers: Ship Design and Construction*, 2004.
- [3] ...,MAESTRO Version 11.0.0 Beta 7: „Program documentation“, DRS-C3 Advanced Technology Center, Stevensville, MD, USA
- [4] MARS200 Version 2.8e, Bureau Veritas
- [5]OCTOPUS Ver.3.0, "Teoretski i korisnički priručnik", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
- [6] Prebeg, P. "Višekriterijsko projektiranje složenih tankostjenih konstrukcija", Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2011.